



# UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS



VARIABILIDAD INTERESTACIONAL DEL MONZON DE NORTEAMERICA: FLUJOS  
HORIZONTALES Y CAMPO DE AGUA PRECIPITABLE DURANTE LOS  
VERANOS DE 1979-1984.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

**OCEANOLOGO**

PRESENTA

*Ninfa Alicia Díaz Sandi Díaz*

Ensenada, B. C., Verano de 1987.

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA  
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

VARIABILIDAD INTERESTACIONAL DEL MONZON DE NORTEAMERICA: FLUJOS  
HORIZONTALES Y CAMPO DE AGUA PRECIPITABLE DURANTE LOS  
VERANOS DE 1979-1984

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

O C E A N O L O G O

PRESENTA

Ninra Alicia Díaz Sandi Díaz

Ensenada, B.C., verano de 1987

VARIABILIDAD INTERESTACIONAL DEL HORIZON DE NORTEAMERICA: FLUJOS  
HORIZONTALES Y CAMPO DE AGUA PRECIPITABLE DURANTE LOS  
VERANOS DE 1979-1984

TESIS  
QUE PRESENTA  
Ninfa Alicia Díaz Sandi Díaz

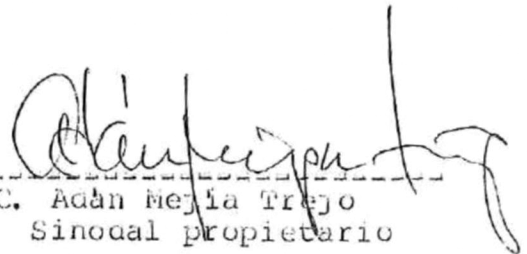
APROBADA POR



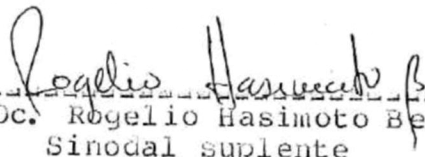
-----  
M. C. Sergio Reyes Coca  
Presidente del jurado



-----  
M. C. René Pinet Plasencia  
Sinodal propietario



-----  
M. C. Adán Mejía Trejo  
Sinodal propietario



-----  
Oc. Rogelio Hasimoto Beltrán  
Sinodal suplente



-----  
Oc. Paciano Rojo Salazar  
Sinodal suplente

## RESUMEN

La variabilidad interestacional del monzón de Norteamérica es estudiada analizando los flujos horizontales de vapor de agua y del campo de agua precipitable, durante los veranos de 1979-1984 sobre la región tropical del Océano Pacífico y América. El análisis se basa en datos de viento y humedad específica del 'National Meteorological Center' (NMC) de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) promediados para cada 15 días de 00 y 12 (TMG) a 4 niveles de presión: 1000, 850, 700 y 500 mb con resolución de 2.5 grados latitud/longitud; datos de anomalías en la precipitación sobre la costa oeste de México y datos del origen, número y trayectoria de las perturbaciones tropicales en el Océano Pacífico Tropical del Este (OPTe). Los resultados indican la existencia de flujos interhemisféricos a lo largo de una banda longitudinal centrada entre 100 y 110 grados W durante los veranos de todos los años estudiados, aunque con diferentes características. Se observa una relación de la circulación monzónica con los patrones de precipitación observados sobre el noroeste de México y se hace evidente que ésta circulación está restringida a los niveles bajos de la atmósfera. Se observa que la influencia de los huracanes sobre la lluvia es significativa sólo en la región intermedia y del sur de la costa oeste de México, también es evidente que la mayor parte del vapor de agua atmosférico se transporta en la baja tropósfera; grandes cantidades de agua precipitable sobre regiones tropicales, especialmente sobre el Océano Pacífico Tropical y norte de Brasil; los valores máximos de agua precipitable (AP) también se han observado donde la circulación monzónica es evidente. La tropósfera media muestra un patrón similar a la tropósfera baja, pero los valores son más bajos del orden de tres veces menor. La tropósfera superior muestra un patrón latitudinal asimétrico indicando pobre efecto superficial, pero con una mayor influencia de la circulación atmosférica meridional. Se obtiene también que en el Océano Pacífico Tropical y Sudamérica hay bajos valores de agua precipitable durante Septiembre-Noviembre de 1982 y durante el invierno de 1982-1983 muestra valores altos cuando una evidencia clara del fenómeno de 'El Niño-Oscilación del Sur'.

DEDICATORIA

A MIS PADRES:

Mis primeros y más grandes maestros.

## AGRADECIMIENTOS

Al M.C. Sergio Reyes Coca, por su dirección y gran apoyo en la realización de ésta tesis.

A los sinodales M.C. Adán Mejía T., M.C. René Pinet P., Oc. Rogelio Hasimoto y Oc. Paciano Rojo que revizaron el escrito y presidieron el exámen profesional.

A mis compañeros del grupo de Meteorología: Tec. Met. Javier García, Oc. Enrique García, Oc. Luis Tejeda, Oc. David Villalobos y Oc. Olga Elena Ramírez por diferentes contribuciones a ésta tesis y que por su compañerismo se hizo muy agradable mi estancia en el CICESE.

Al CICESE por las multiples facilidades que otorgó ya que ésta tesis se desarrolló en la sección de meteorología del departamento de oceanografía física del CICESE. Formando parte de los proyectos: 'Variabilidad Climática de la Circulación Monzónica sobre México' y 'Meteorología de Centro América y México', claves: PCCNCNA-031312 y PCECBNA-021026, respectivamente. Los cuales son financiados por el CONACYT.

Al CONACYT por el apoyo económico en la realización del mismo.

A mis amigos Oc. Elsa Zazueta, Oc. Margarita Rivas, Oc. Jorge Ramírez, Oc. Guillermo Pozos y Oc. Bernardo Flores por la gran amistad que me brindaron a lo largo de la carrera.

A mi esposo Bio. Eric Pedersen que me ha brindado un gran apoyo y estímulo dentro de mi carrera profesional.

Y finalmente pero de manera muy especial a mis padres: Sr. Licurgo Díaz Sandi y Ma. de Jesus Díaz por su apoyo y confianza a lo largo de toda mi vida.

## INDICE

1	INTRODUCCION	1
1.1	Antecedentes	2
1.2	Objetivos	6
2	MATERIALES Y METODOS	7
2.1	Area de Estudio	7
2.2	Datos del 'National Meteorological Center' (NMC) de la NOAA	11
2.3	Análisis de Agua Precipitable	12
2.4	Análisis de los Flujos Verticalmente Integrados	12
2.5	Datos de Precipitación y Perturbaciones Tropicales	14
2.6	Errores y Validez de los Datos	14
3	RESULTADOS	16
3.1	Promedios Mensuales del Flujo Zonal de Vapor de Agua	16
3.1.1	Características Generales	
a)	Nivel I (1000-850 mb)	16
b)	Nivel II (850-700 mb)	24
c)	Nivel III (700-500 mb)	31
3.1.2	Diferencias entre niveles	31
3.2	Promedios Mensuales del Flujo Meridional de Vapor de agua	38
3.2.1	Características Generales	
a)	Nivel I	38
b)	Nivel II	46
c)	Nivel III	46
3.2.2	Diferencias entre niveles	59
3.3	Promedios Mensuales del Campo de Agua Precipitable	60
3.3.1	Características Generales	
a)	Nivel I	60
b)	Nivel II	68
c)	Nivel III	75
3.3.2	Diferencias entre niveles	82
3.4	Secciones transversales de latitud/tiempo de los flujos de vapor de agua y agua precipitable	83
3.4.1	Flujo Zonal	83
3.4.2	Flujo Meridional	87
3.4.3	Campo de Agua Precipitable	91
3.5	Perturbaciones Tropicales en el OPTE y Anomalías en la Precipitación sobre México	95
4	DISCUSION	102
4.1	Flujo Zonal	102
4.2	Flujo Meridional	105
4.3	Campo de Agua Precipitable	107
4.4	Perturbaciones Tropicales-Anomalías en la Precipitación-Flujos	111
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	116
	LITERATURA CITADA	120

## LISTA DE ACRONIMOS

National Meteorological Center	NMC
National Oceanic and Atmospheric Administration	NOAA
Flujo Zonal de Vapor de Agua	FZVA
Flujo Meridional de Vapor de Agua	FMVA
Agua Precipitable	AP
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada	CICESE
Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos de México	SARH
Océano Pacífico Tropical	OPT
Océano Pacífico Tropical del este	OPTe
El Niño-Oscilación del Sur	ENOS
Estados Unidos de América	EUA
Zona de Convergencia Intertropical	ZCI
Hemisferio Norte	HN
Hemisferio Sur	HS
Centro de Alta Presión	CAP

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.- Mapa del área de estudio.	8
Figura 2.- Promedios mensuales del flujo zonal de vapor de agua de Mayo a Octubre de 1979 del nivel I (de 1000-850 mb). Las isolíneas punteadas indican flujo del este, las continuas denotan flujo del oeste y la isolínea más gruesa indica flujo cero. Los intervalos son cada 20 Kg/m <sup>2</sup> s.	17
Figura 3.- Igual que la figura 2 solo que para 1980.	18
Figura 4.- Igual que la figura 3 solo que para 1981.	19
Figura 5.- Igual que la figura 4 solo que para 1982.	20
Figura 6.- Igual que la figura 5 solo que para 1983.	21
Figura 7.- Igual que la figura 6 solo que para 1984.	22
Figura 8.- Promedios mensuales del flujo zonal de vapor de agua de Mayo a Octubre de 1979 del nivel II (de 850-700 mb). Las isolíneas punteadas indican flujo del este, las continuas flujo del oeste y la isolínea más gruesa indica flujo cero. Los intervalos son cada 20 Kg/m <sup>2</sup> s.	25
Figura 9.- Lo mismo que la figura 8 solo que para 1980.	26
Figura 10.- Lo mismo que la figura 8 solo que para 1981.	27
Figura 11.- Lo mismo que la figura 8 solo que para 1982.	28
Figura 12.- Lo mismo que la figura 8 solo que para 1983.	29
Figura 13.- Lo mismo que la figura 8 solo que para 1984.	30
Figura 14.- Lo mismo que la figura 8 solo que para el nivel III ( de 700-550 mb) de 1979.	32
Figura 15.- Lo mismo que la figura 8 solo que para el nivel III de 1980.	33
Figura 16.- Lo mismo que la figura 8 solo que para el nivel III de 1981.	34

Figura 17.-	Lo mismo que la figura 8 solo que para el nivel III de 1982.	35
Figura 18.-	Lo mismo que la figura 8 solo que para el nivel III de 1983.	36
Figura 19.-	Lo mismo que la figura 8 solo que para el nivel III de 1984.	37
Figura 20.-	Promedios mensuales del flujo meridional de vapor de agua de Mayo a Octubre de 1979 del nivel I. Las isoíneas punteadas indican flujo del norte, las continuas flujo del sur y la isoínea más gruesa denota flujo cero. Las unidades están dadas en Kg/m.s.	39
Figura 21.-	Lo mismo que la figura 20 solo que para 1980.	40
Figura 22.-	Lo mismo que la figura 20 solo que para 1981.	41
Figura 23.-	Lo mismo que la figura 20 solo que para 1982.	42
Figura 24.-	Lo mismo que la figura 20 solo que para 1983.	43
Figura 25.-	Lo mismo que la figura 20 solo que para 1984.	44
Figura 26.-	Lo mismo que la figura 20 solo que para el nivel II de 1979.	47
Figura 27.-	Lo mismo que la figura 20 solo que para el nivel II de 1980.	48
Figura 28.-	Lo mismo que la figura 20 solo que para el nivel II de 1981.	49
Figura 29.-	Lo mismo que la figura 20 solo que para el nivel II de 1982.	50
Figura 30.-	Lo mismo que la figura 20 solo que para el nivel II de 1983.	51
Figura 31.-	Lo mismo que la figura 20 solo que para el nivel II de 1984.	52

Figura 32.- Lo mismo que la figura 20 solo que para el nivel III de 1979.	53
Figura 33.- Lo mismo que la figura 20 solo que para el nivel III de 1980.	54
Figura 34.- Lo mismo que la figura 20 solo que para el nivel III de 1981.	55
Figura 35.- Lo mismo que la figura 20 solo que para el nivel III de 1982.	56
Figura 36.- Lo mismo que la figura 20 solo que para el nivel III de 1983.	57
Figura 37.- Lo mismo que la figura 20 solo que para el nivel III de 1984.	58
Figura 38.- Promedios mensuales del campo de agua precipitable de Mayo a Octubre de 1979 del nivel I. Las unidades estan dadas en mm.	61
Figura 39.- Lo mismo que la figura 38 solo que para 1980.	62
Figura 40.- Lo mismo que la figura 38 solo que para 1981.	63
Figura 41.- Lo mismo que la figura 38 solo que para 1982.	64
Figura 42.- Lo mismo que la figura 38 solo que para 1983.	65
Figura 43.- Lo mismo que la figura 38 solo que para 1984.	66
Figura 44.- Lo mismo que la figura 38 solo que para el nivel II de 1979.	69
Figura 45.- Lo mismo que la figura 38 solo que para el nivel II de 1980.	70
Figura 46.- Lo mismo que la figura 38 solo que para el nivel II de 1981.	71
Figura 47.- Lo mismo que la figura 38 solo que para el nivel II de 1982.	72
Figura 48.- Lo mismo que la figura 38 solo que para el nivel II de 1983.	73

Figura 49.-	Lo mismo que la figura 36 solo que para el nivel II de 1984.	74
Figura 50.-	Lo mismo que la figura 38 solo que para el nivel III de 1979.	76
Figura 51.-	Lo mismo que la figura 38 solo que para el nivel III de 1980.	77
Figura 52.-	Lo mismo que la figura 38 solo que para el nivel III de 1981.	78
Figura 53.-	Lo mismo que la figura 38 solo que para el nivel III de 1982.	79
Figura 54.-	Lo mismo que la figura 38 solo que para el nivel III de 1983.	80
Figura 55.-	Lo mismo que la figura 38 solo que para el nivel III de 1984.	81
Figura 56.-	Secciones transversales latitud/tiempo de vapor entre 100 y 110 grados W del flujo zonal de agua del nivel I, de Octubre de 1978 a Marzo de 1985. Las isolíneas punteadas indican flujo del este, las continuas flujo del oeste y la isolínea más gruesa denota flujo cero. Las unidades están dadas en Kg/m <sup>2</sup> s.	84
Figura 57.-	Lo mismo que la figura 56 solo que para el nivel II.	85
Figura 58.-	Lo mismo que la figura 56 solo que para el nivel III.	86
Figura 59.-	Lo mismo que la figura 56 solo que para el flujo meridional.	87
Figura 60.-	Lo mismo que la figura 56 solo que para el flujo meridional y nivel II.	89
Figura 61.-	Lo mismo que la figura 56 solo que para el flujo meridional y nivel III.	90
Figura 62.-	Lo mismo que la figura 56 solo que para el campo de agua precipitable del nivel I. Las unidades están dadas en mm.	92

Figura 63.- Lo mismo que la figura 62 solo que para el nivel II.	93
Figura 64.- Lo mismo que la figura 62 solo que para el nivel III.	94
Figura 65.- Trayectorias de perturbaciones tropicales acumuladas de Mayo-Octubre de: a) 1979 y b) 1980. La flecha indica la dirección de desplazamiento.	96
Figura 66.- Trayectorias de perturbaciones tropicales acumuladas de Mayo-Octubre de: a) 1981 y b) 1982. La flecha indica la dirección de desplazamiento.	97
Figura 67.- Trayectorias de perturbaciones tropicales acumuladas de Mayo-Octubre de: a) 1983 y b) 1984. La flecha indica la dirección de desplazamiento.	98
Figura 68.- Anomalías de la precipitación sobre la costa oeste de México dividida en tres regiones: a) Región norte que incluye el estado de Sonora, b) región intermedia que comprende Sinaloa y Nayarit y c) región sur que comprende desde Jalisco hasta Guerrero desde Octubre de 1978 a Diciembre de 1984.	101

## I INTRODUCCION

Las circulaciones monzónicas son variaciones estacionales en la dirección del flujo del aire, originadas por el calentamiento diferencial entre continentes y océanos durante las épocas de invierno y verano (Ramage, 1971). Son fenómenos a gran escala muy importantes en la circulación general de la atmósfera (Cadet, 1979), siendo las más importantes las localizadas en el continente Asiático.

Existen otras regiones en el mundo con características monzónicas de menor magnitud, aunque también muy importantes en cuanto a sus efectos en la precipitación. En particular se ha encontrado que, durante el verano del Norte, el oeste de México y suroeste de los Estados Unidos se caracterizan por un fuerte calentamiento superficial y por la formación de un centro de baja presión en el cual los flujos de aire del Pacífico y Atlántico convergen. Al mismo tiempo, se intensifica la circulación atmosférica en el Pacífico sur y se crean flujos meridionales que cruzan el ecuador (cross-ecuatoriales), transportando gran cantidad de vapor de agua y calor latente a lo largo del Pacífico Tropical del Este y Oeste de México (Reyes y Cadet, 1987).

### 1.1 Antecedentes

Se han realizado un gran número de investigaciones acerca de los monzones de verano de la India, Australia y Africa, dada su importancia en la vida y la economía de muchos países del mundo; (p. ej. Cadet y Reverdin (1981), Krishnamurti (1984)), en cambio, en la región de Norte América sólo se cuenta con algunos trabajos acerca del sistema monzónico, los cuales formarán la base para la realización de ésta tesis. Douglas (1982) estudia el monzón mexicano en el verano de 1982 y encuentra que existe una disminución de la circulación atmosférica, que da lugar a una 'sequía' en casi la mitad del país, pues las lluvias disminuyen en por lo menos un 50 por ciento a lo largo de las costas del suroeste de México; también relaciona la precipitación por abajo de lo normal con la temperatura superficial del mar (por arriba de lo normal) en el Océano Pacífico Tropical del Este (OPTe), anterior al evento de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) de 1982-1983. Reyes y Cadet (1987) estudian el monzón de Norte América y su relación con el transporte de vapor de agua atmosférico sobre México en el verano de 1979 y encuentran que se forma un canal meridional centrado a lo largo de los 100 y 110 grados W por donde penetra el flujo que cruza el ecuador desde el Pacífico Sur hasta el oeste de México. Reyes y Cadet

(1987) muestran también la evolución mensual y las características de ésta circulación monzónica y asocian el inicio y rompimiento de ésta con los patrones de precipitación observados en México y el número y trayectorias de las perturbaciones tropicales en el OPTE.

Algunos estudios sobre el campo de vapor de agua que están relacionados a la región de interés de la presente tesis son los siguientes: Hastenrath (1966) obtiene los flujos de vapor de agua atmosféricos sobre el mar Caribe y el Golfo de México en base a datos de radiosondeo, obteniendo la dirección predominante del transporte de humedad y los flujos de vapor de agua, analizando la influencia de éstos en los procesos de precipitación y evaporación en la zona. Rasmusson (1967) estimó el campo de vapor de agua sobre Norte América y los mares de América Central (Golfo de México y Mar Caribe) analizando los valores promedio mensual de las componentes del flujo total de vapor de agua, además discute los aspectos más importantes de la climatología del flujo regional de vapor de agua. Reyes y Cadet (1986) discuten aspectos generales del agua precipitable sobre América y Centro América donde relacionan los fenómenos atmosféricos observados en la región del Océano Pacífico Oriental durante el verano de 1979 con la evolución de los campos de agua precipitable y

los flujos superficiales de vapor de agua. Villalobos (1985) realizó un trabajo sobre la misma región, donde examina más extensamente la estructura espacial y evolución temporal del promedio mensual del agua precipitable en tres diferentes capas atmosféricas de presión (de la superficie a los 700 mb, de los 700 a los 500 mb y de los 500 a los 300 mb) en la región de interés, encontrando que las principales regiones de mayor contenido de agua precipitable a través de las tres capas se localizan a lo largo de un cinturón zonal entre los 0 y 15 grados norte sobre el Océano Pacífico, asociado a la posición de la zona de Convergencia Intertropical. Rivera (1985) analiza los promedios mensuales de viento en donde observa una circulación meridional en forma de celda de Hadley, también obtiene el campo de divergencia donde observa que la zona de convergencia intertropical localizada entre los 0 y 20 grados N en forma de banda zonal se desplaza al norte conforme avanza el verano. García y Reyes (1985) obtienen promedios mensuales del lugar y tiempo de origen de las perturbaciones tropicales en el Océano Pacífico Tropical, encontrando que los límites latitudinales de formación de ciclones están entre los 7 y 21 grados norte, y longitudinalmente desde el Continente Americano a los 135 grados W, es además la región de mayor densidad de formación de tormentas tropicales (Hansen, 1972). Hasimoto

(1986) analiza los flujos atmosféricos de vapor de agua sobre la región de Centro América y México durante los meses de Mayo a Septiembre de 1979 y encuentra que la vertiente occidental presenta una influencia del Océano Pacífico con valores máximos de 200 gr/cm·seg en la región del Pacífico sur-ecuatorial occidental; observa también que hay un flujo que atravieza el ecuador centrado en 110 grados W. Garcia (1987) analiza la evolución estacional de AP y del transporte de vapor de agua zonal y meridional en todo el mundo encontrando que el inicio de las circulaciones monzónicas están caracterizados por un incremento en los flujos del vapor de agua, correspondiendo los máximos valores a la región tropical en el verano.

## 1.2 Objetivos

i) Estudiar la variabilidad interestacional del monzón de Norte América a partir del análisis del transporte de vapor de agua y del campo de agua precipitable sobre la región tropical del Océano Pacífico y América durante los veranos de 1979-1984.

ii) Evidenciar las características y sus relaciones con otros fenómenos meteorológicos, tales como las perturbaciones tropicales, ENOS, la precipitación y sequías sobre el oeste de México, etc.

## 2 MATERIALES Y METODOS

### 2.1 Área de Estudio

En éste trabajo se estudian los campos de vapor de agua en la región geográfica limitada por 120 grados E a 40 grados W de longitud y de los 40 grados N a los 20 grados S de latitud en la escala horizontal, y desde los 1000 a los 500 mb en la componente vertical. Esta gran extensión comprende gran parte del OPT, el Golfo de México, una parte del Océano Atlántico Occidental, abarca la República Mexicana, Centro América y la región septentrional de América del Sur (Fig.1). Esta área de estudio incluye la región tropical (región comprendida entre las isotermas de 18 grados C a nivel del mar y calculada para el mes más frío del año, según Nieuwolt (1977)), e incluye una pequeña parte de las latitudes medias.

En ésta área están comprendidas dos regiones climatológicas y meteorológicas con distintos fenómenos característicos tanto de zonas tropicales como de latitudes medias. En cuanto a la zona tropical, los vientos alisios es la característica más importante debido a que tienen una área de influencia muy amplia, de 30 grados S a los 30 grados N de latitud en niveles inferiores e incrementandose

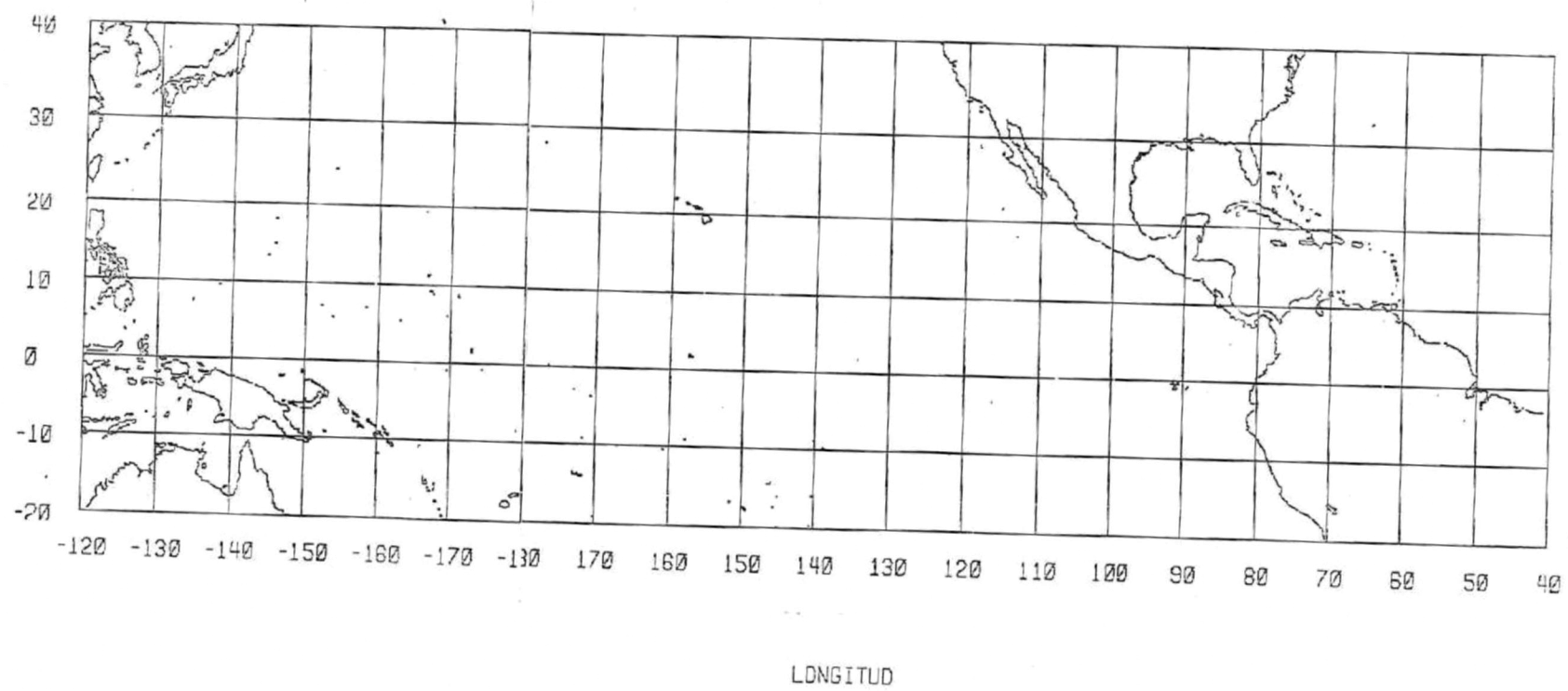


Fig. 1. - Mapa del área de estudio.

hacia niveles superiores (Palmén y Newton, 1969). Son originados en latitudes bajas en las proximidades de las celdas subtropicales de alta presión, presentando una dirección noreste en el hemisferio norte y una dirección sureste en la región del hemisferio sur; las dos zonas de viento tienden a converger hacia el ecuador formando lo que se llama Zona de Convergencia Intertropical (ZCI). Movimientos de menor escala que los vientos alisios, pero no menos importantes en la dinámica y climatología atmosférica, son las llamadas perturbaciones tropicales (depresiones, tormentas y huracanes) y extratropicales (frentes de origen polar).

También es importante considerar las condiciones oceanográficas, ya que en el caso de las corrientes oceánicas, éstas influyen en la formación de masas de aire y en los cambios horizontales que producen (Damas, 1968), principalmente sobre regiones situadas entre Océano-Continente. Las principales corrientes en la región de interés para el Océano Atlántico son: Corriente Ecuatorial del Norte, que fluye hacia el oeste entre 10 grados N y 20 grados N en el Mar Caribe; alrededor de Cuba y hasta el estrecho de Florida encontramos la Corriente de Florida (Corriente del Golfo por la zona de las Bermudas). En el OTE encontramos la Corriente de California, la cual

lleva aguas frías en dirección sur; la Corriente Ecuatorial del Norte con la misma latitud que en la parte del Atlántico y que fluye de este a oeste; Corriente Ecuatorial del Sur, entre 20 grados S hasta unos grados hacia el norte del ecuador y fluye de este a oeste; Corriente de Kuroshio al este de Asia, y finalmente la Contracorriente Ecuatorial entre las Corrientes del Norte y Sur Ecuatorial (Fairbridge, 1967).

En cuanto a la orografía, tenemos como más importantes: las Montañas Rocosas y la Sierra Madre Occidental, en Estados Unidos de América (EUA) y México, respectivamente; forman una cadena montañosa de más de 2000 m de altura que se prolonga hacia Centroamérica con pequeñas discontinuidades en el Istmo de Tehuantepec, entre Nicaragua y Costa Rica y cerca del canal de Panamá (Nieuwolt, 1977); en la parte oriental de América del Norte los Montes Apalaches en EUA que alcanzan alturas entre 1000 y 2000 m; la Sierra Madre Oriental en México tiene entre 200 y 1000 m de altura (García et al., 1975). En América del sur la cordillera de los Andes alcanza alturas mayores a los 4000 m. Es importante mencionar también la gran extensión boscosa del Amazonas al norte de Brasil en América del Sur, como una importante fuente de evapotranspiración.

## 2.2 Datos

Se utiliza el paquete de datos de los campos de viento y humedad específica del 'National Meteorological Center' (NMC) de la NOAA con promedios para cada 15 días de 00 y 12 (TMG) de 4 niveles de presión (1000, 850, 700 y 500 mb) para el período de Octubre de 1978 a Marzo de 1985 con una resolución de 2.5 grados latitud/longitud, para el área de estudio ya descrita. Estos datos fueron preparados por el NMC en Washington D. C., y su análisis se basa en la asimilación de todos los datos diarios disponibles (radiosondeos, satélites, aviones, etc.). El tratamiento de ésta mezcla de datos de diferentes fuentes es realmente difícil, por lo que el NMC ha desarrollado un nuevo sistema de asimilación de datos globales. El procesamiento de asimilación considera un modelo de predicción global a través de interpolaciones estadísticas próximas a puntos de la malla. El esquema del análisis del NMC ya ha sido descrito ampliamente por McPhearson & Col., (1979), Klister & Parrish (1982) y Dey & Morone (1985); el lector podrá referirse a éstas publicaciones para una descripción detallada y completa del modelo y esquema de asimilación.

### 2.3 Análisis de Agua Precipitable

Se calcula la cantidad de vapor de agua en una columna atmosférica con base unitaria y es llamada agua precipitable (AP), está dada por (Saucier, 1955):

$$A P = \frac{1}{\rho g} \int_{P_0}^{P_1} (-r) d P$$

donde

AP es agua precipitable dada en milímetros,

$\rho$  ( $1 \text{ kg/m}^3$ ) es la densidad del aire,

$g$  ( $9.81 \text{ m/s}$ ) es la aceleración debida a la gravedad,

$P_0$  es el límite de presión más bajo,

$P_1$  es el límite de presión más alto y

$r$  (0/00) es la razón de mezcla.

### 2.4 Análisis de los Flujos Verticalmente Integrados de Vapor de Agua

Para estudiar mejor la evolución espacial y temporal de la circulación atmosférica en la región de interés se calculan los flujos verticalmente integrados de vapor de

agua que se definen como (Kasmusson, 1967):

$$F_z = \frac{1}{g} \int_{P_0}^{P_1} q u dP$$

$$F_m = \frac{1}{g} \int_{P_0}^{P_1} q v dP$$

donde

$F_z$  (kg/m·s) es el flujo zonal de vapor de agua,

$F_m$  (kg/m·s) es el flujo meridional de vapor de agua,

$q$  (g/kg) es humedad específica,

$u$  (m/s) es la componente zonal del viento y

$v$  (m/s) es la componente meridional del viento.

Los resultados se presentan en forma de mapas espaciales latitud/longitud, del promedio mensual del flujo de vapor de agua. En particular, para evidenciar la evolución y variabilidad interanual de la circulación monzónica, se presentan mapas de latitud/tiempo para la región comprendida entre 100 y 110 grados W, de Octubre de 1978 a Marzo de 1985.

## 2.5 Datos de Precipitación y Perturbaciones Tropicales

En esta tesis se utilizan también los datos de las anomalías en la precipitación sobre la vertiente del Pacífico mexicano, extraídos de los Resúmenes Climatológicos Mensuales y Estacionales de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos de México (SARH) para todos los meses desde Octubre de 1978 a Diciembre de 1984 y del origen, número y trayectoria de las perturbaciones tropicales (depresiones, tormentas tropicales y huracanes) que se obtienen de los trabajos de Gunther (1980-1985).

## 2.6 Errores y Validez de los Datos

Los cálculos numéricos están influenciados por muchos tipos de errores. Algunas fuentes de errores son difíciles de encontrar, otras pueden ser reducidas ó aún eliminadas, por ejemplo, reescribiendo formulas ó haciendo otros cambios en la secuencia computacional. pero también hay errores que son inevitables, por fallas mecánicas ó humanas. Se han encontrado errores en los datos del NMC utilizados en ésta tesis debido a las diferentes fuentes de donde se han obtenido (radiosondeos, satélites, aviones, etc.) y por ese motivo se desarrolló el nuevo sistema de asimilación de datos globales.

Se incluyen en los resultados los mapas de Agosto de 1979 de los niveles II y III pero no son analizados, ya que los datos presentan error, y se ha considerado que un análisis por medio de interpolación resultaría muy poco confiable. Los datos de 1980 también son poco confiables en cuanto a que ahí se hizo una modificación al modelo para mejorarlo; entoces, a partir de éste año los resultados son considerados como más reales y se podrán comparar con los resultados del primer año estudiado en cuanto a las formas que resulten.

### 3 RESULTADOS

Los resultados que se presentan en éste trabajo son promedios mensuales de: i) flujo de vapor de agua para tres niveles isobáricos (nivel I: 1000-850 mb, nivel II: 850-700 mb y nivel III: 700-500 mb) de Mayo a Octubre de cada año (1979-1984); ii) los campos de agua precipitable para lo mismo que el inciso anterior; iii) secciones transversales de latitud/tiempo de los flujos de vapor de agua y agua precipitable para los mismos niveles y período que el inciso anterior y iv) datos de las anomalías de la precipitación mensual sobre la vertiente del Pacífico mexicano así como del número y trayectoria de las perturbaciones tropicales en el OPTE dentro del mismo periodo.

#### 3.1 Promedios Mensuales del Flujo Zonal de Vapor de Agua

##### 3.1.1 Características Generales

###### a) Nivel I

De las figuras 2 a la 7 se muestran los promedios mensuales del flujo zonal de vapor de agua (FZVA) para el nivel de 1000 - 850 mb de Mayo a Octubre de 1979-1984. En ellas se observa flujo del oeste (isolíneas continuas)

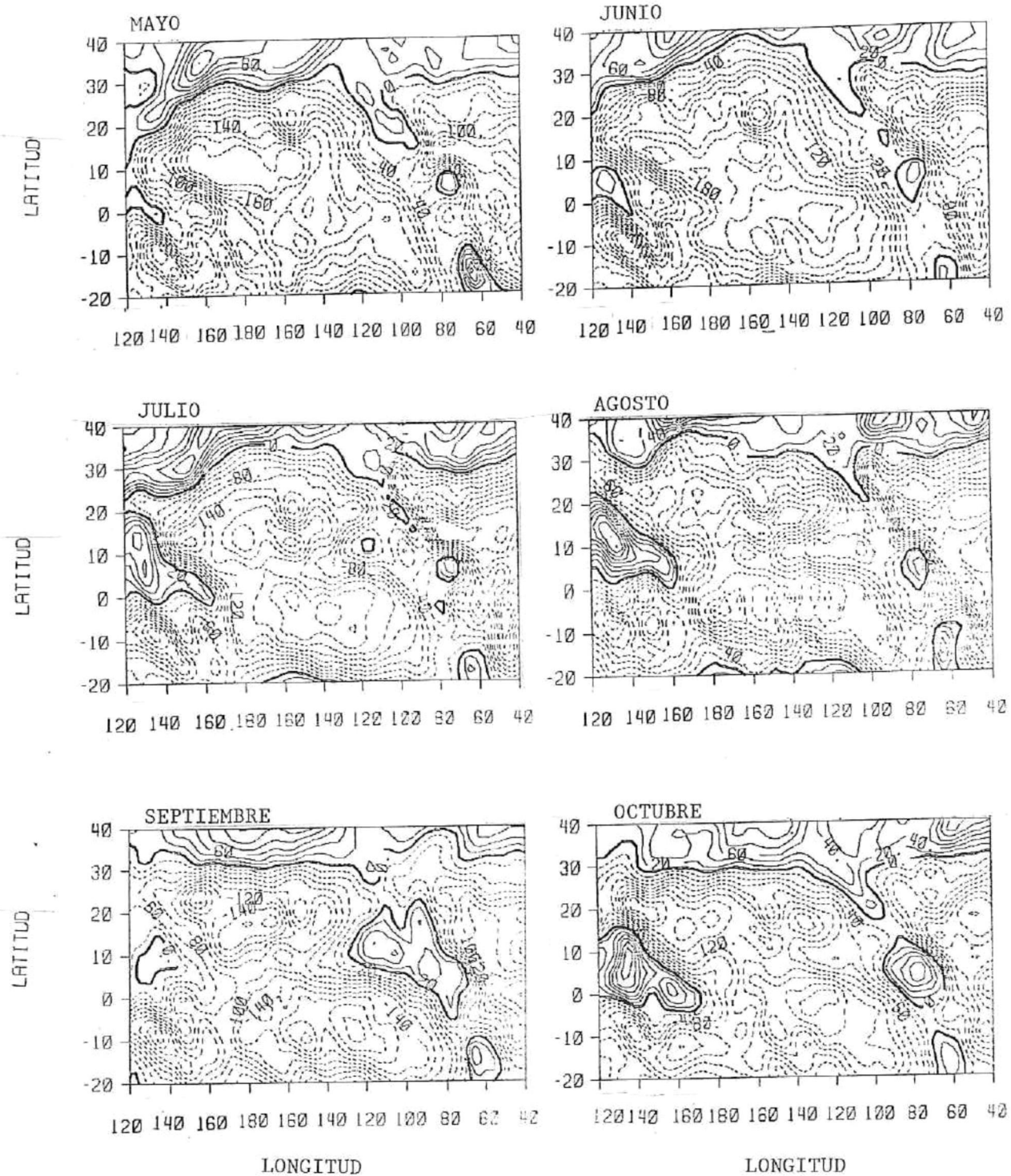


Fig. 2. - Promedios mensuales del flujo zonal de vapor de agua de Mayo a Octubre de 1979 del nivel I (de 1000-850 mb). Las isolíneas punteadas indican flujo del este, las continuas denotan flujo del oeste y la isolínea más gruesa indica flujo cero. Los intervalos son cada 20 Kg/m.s.

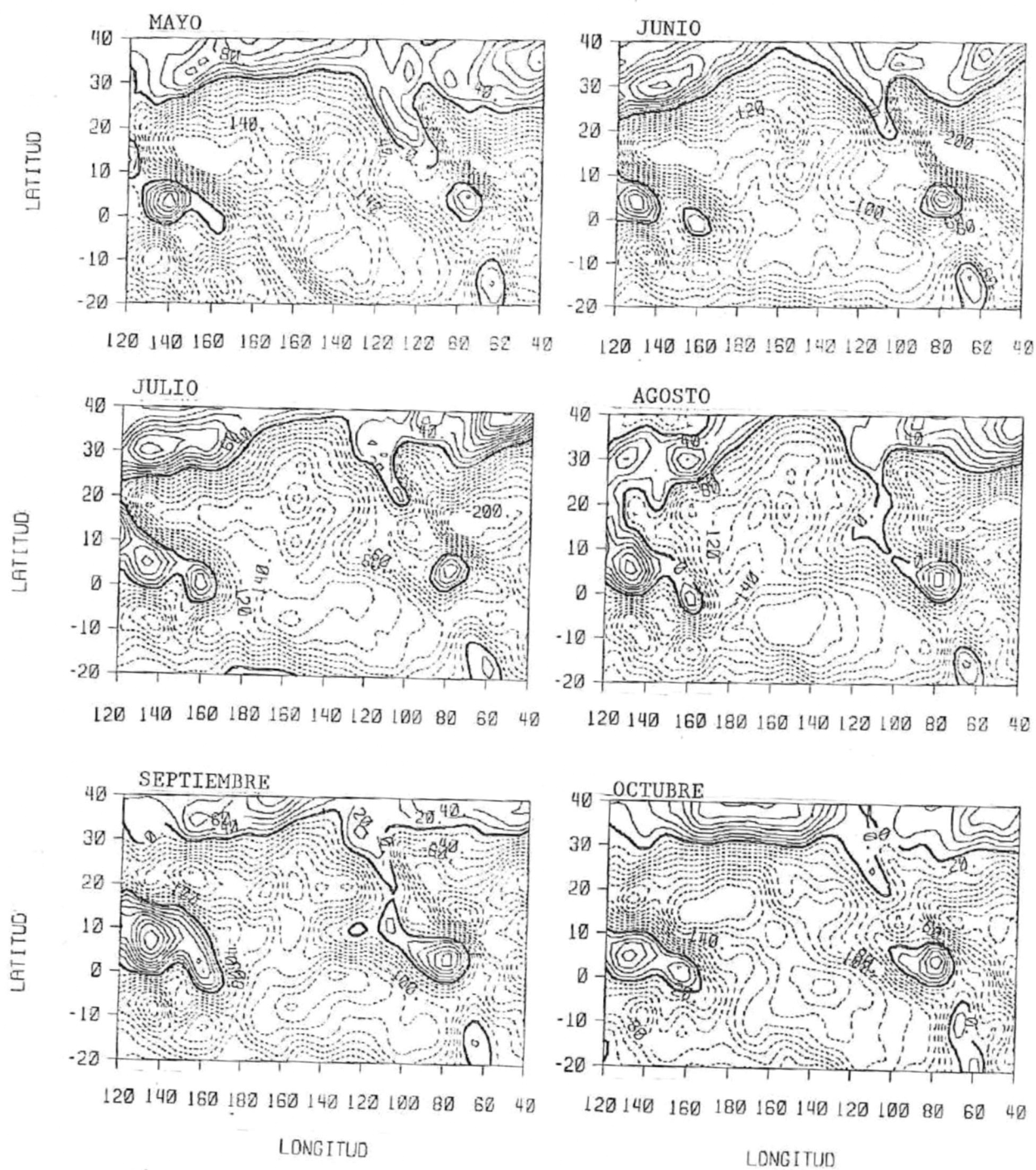


Fig. 3. - Igual que la figura 2 solo que para 1980.

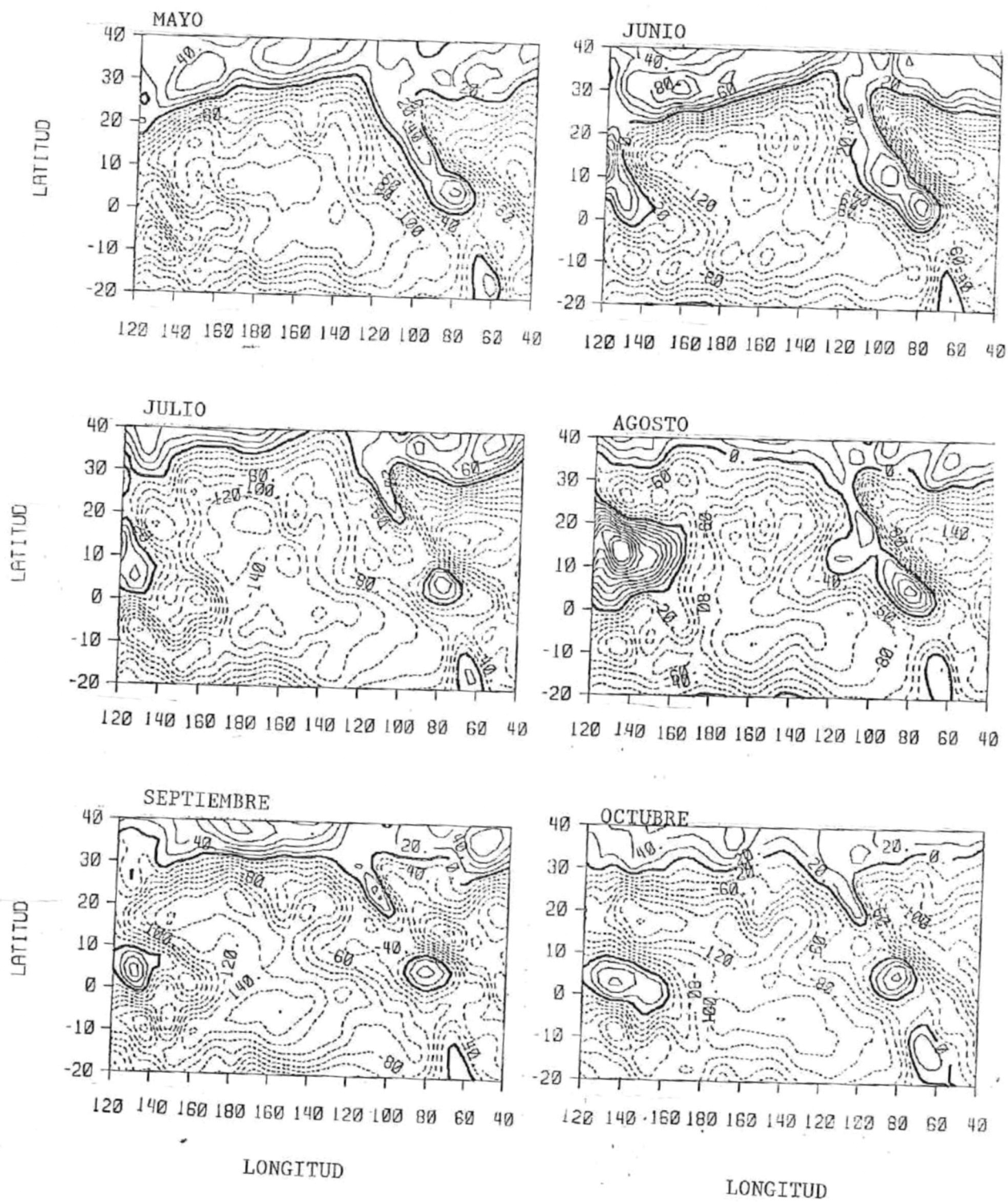


Fig. 4. - Igual que la figura 3 solo que para 1981.

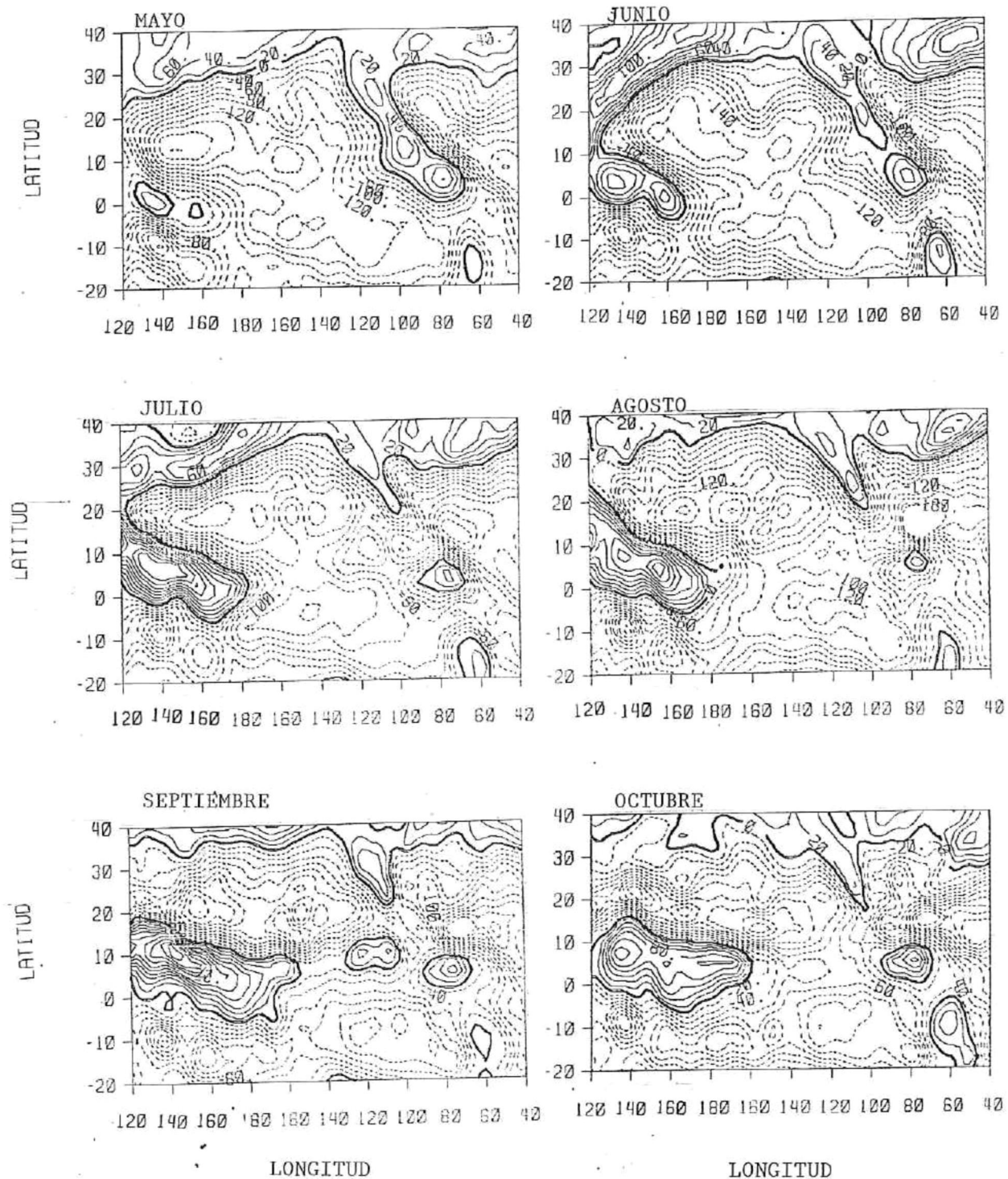


Fig. 5. - Igual que la figura 4 solo que para 1982.

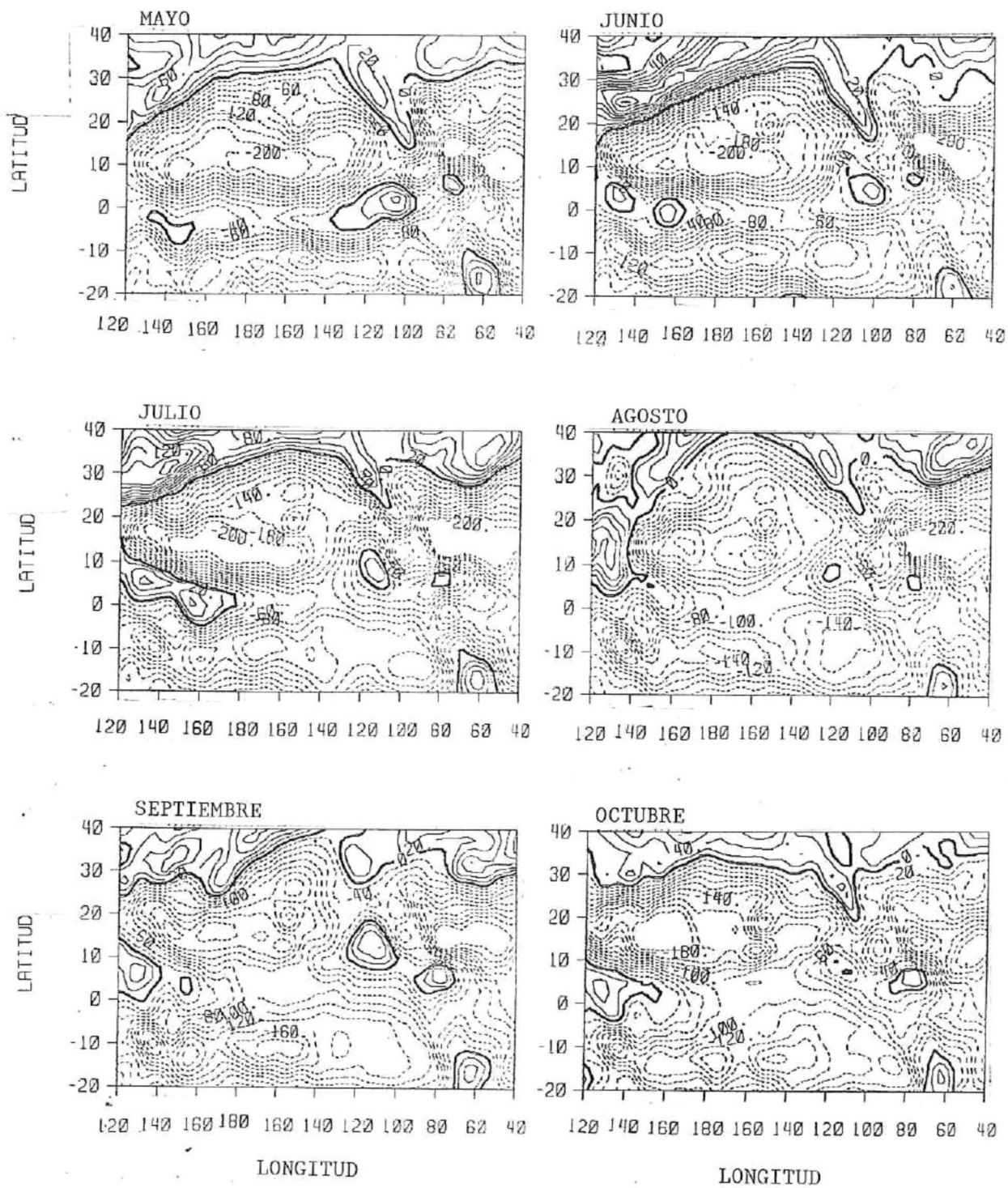


Fig. 6. - Igual que la figura 5 solo que para 1983.

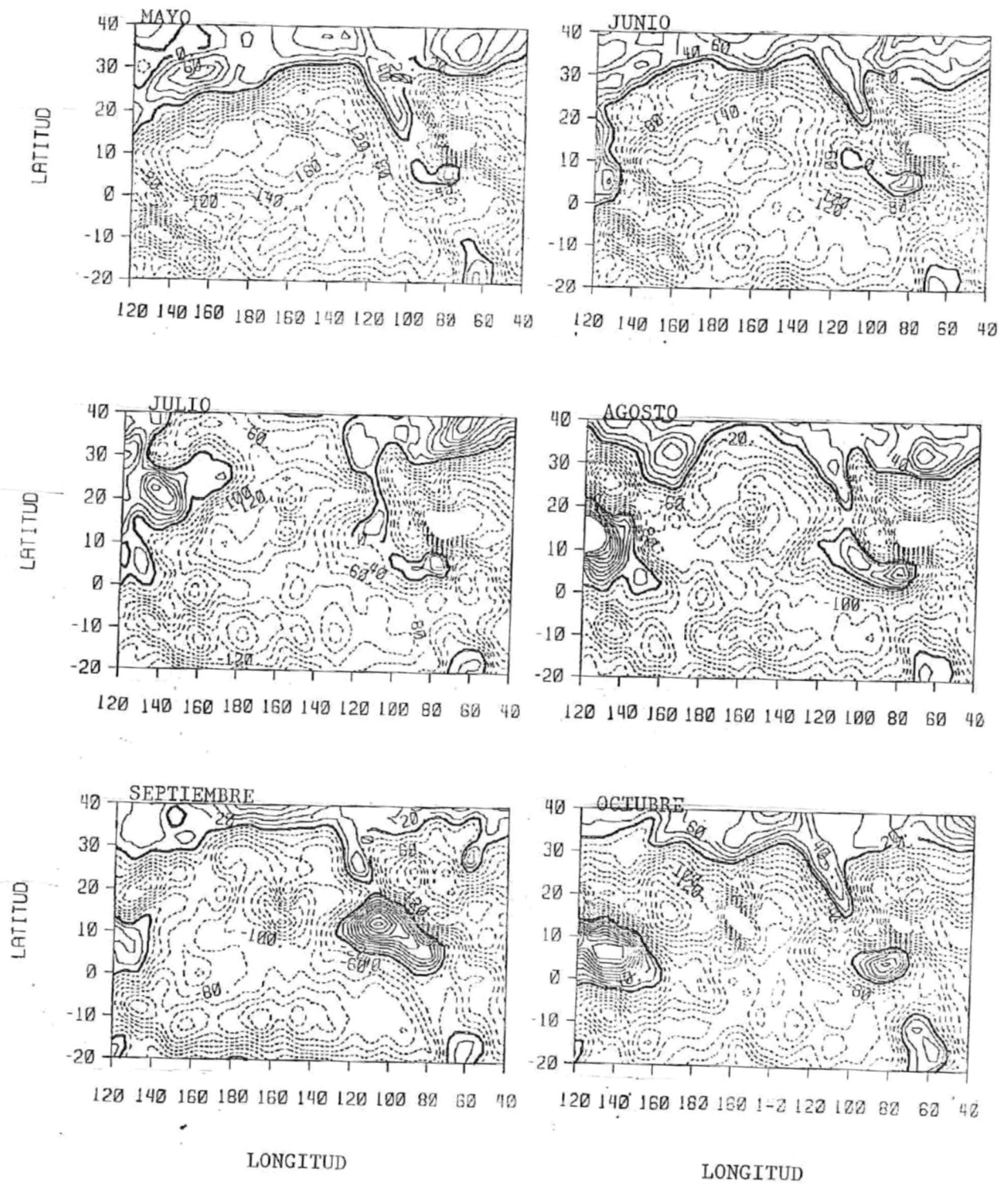


Fig. 7.- Igual que la figura 6 solo que para 1984.

entre 30 grados N y 40 grados N durante todo el período de estudio, mientras que el flujo del este (líneas punteadas) predomina en casi toda la región tropical y los máximos valores (mayor ó igual a 140 Kg/m·s) ocurren sobre la región de Las Antillas y en una extensa zona del Océano Pacífico Central entre 5 grados S - 20 grados N. Este flujo del este (de los 20 grados S a 30 grados N) que ocupa casi toda la región tropical se ve interrumpido por flujos del oeste que aparecen en casi todos los meses estudiados excepto en Mayo de 1981 (Fig. 4) y de 1984 donde sólo se observan parcialmente (Fig. 7).

Otro centro de flujo del oeste, que se aprecia desde el mes de Mayo y alcanza generalmente su máxima área en Agosto, se encuentra localizado entre los 120 grados E y 160 grados W y de 0 a 20 grados N, entre Australia y Surasia, pero es a principios de 1982 donde encontramos éste flujo como una clara anomalía, ya que de alguna manera empieza a tener una intensificación y conforme pasan los meses se va propagando hacia la región de América por un lado y hacia la región del Pacífico por el otro. También se observa un centro de flujo del oeste en la región de Sudamérica y una lengüeta de flujo del oeste que cubre casi por completo el oeste de México, una parte del Océano Pacífico Oriental y parte norte del Golfo de México,

principalmente en el mes de Mayo.

b) Nivel II

En las figuras 8 a la 13 se muestran los promedios mensuales del FZVA para el nivel de 850 - 700 mb, en donde se observa que el patrón de flujo es muy parecido al anterior en cuanto a que el flujo del este predomina en casi toda la región tropical, y el flujo del oeste domina de los 30 grados N - 40 grados N. Este flujo del este también se ve interrumpido por flujos del oeste como centros de flujos, pero en general ocupan una menor área y magnitud que en el nivel I. El centro de flujo del oeste que está sobre Centroamérica y norte de Sudamérica sólo se encuentra significativamente en Septiembre y Octubre de 1979 (Fig.8), Junio de 1981 (Fig. 10), Septiembre de 1984 (Fig. 13); en los meses restantes aparece muy pequeño ó está ausente. En éste nivel también aparece el centro de flujo del oeste del nivel I entre los 120 grados E - 160 grados W, pero con una menor intensidad y área cubierta que en el nivel I. También se nota como una clara anomalía en el flujo que se va intensificando conforme pasa el tiempo y se va propagando hacia la región de América y del Pacífico.

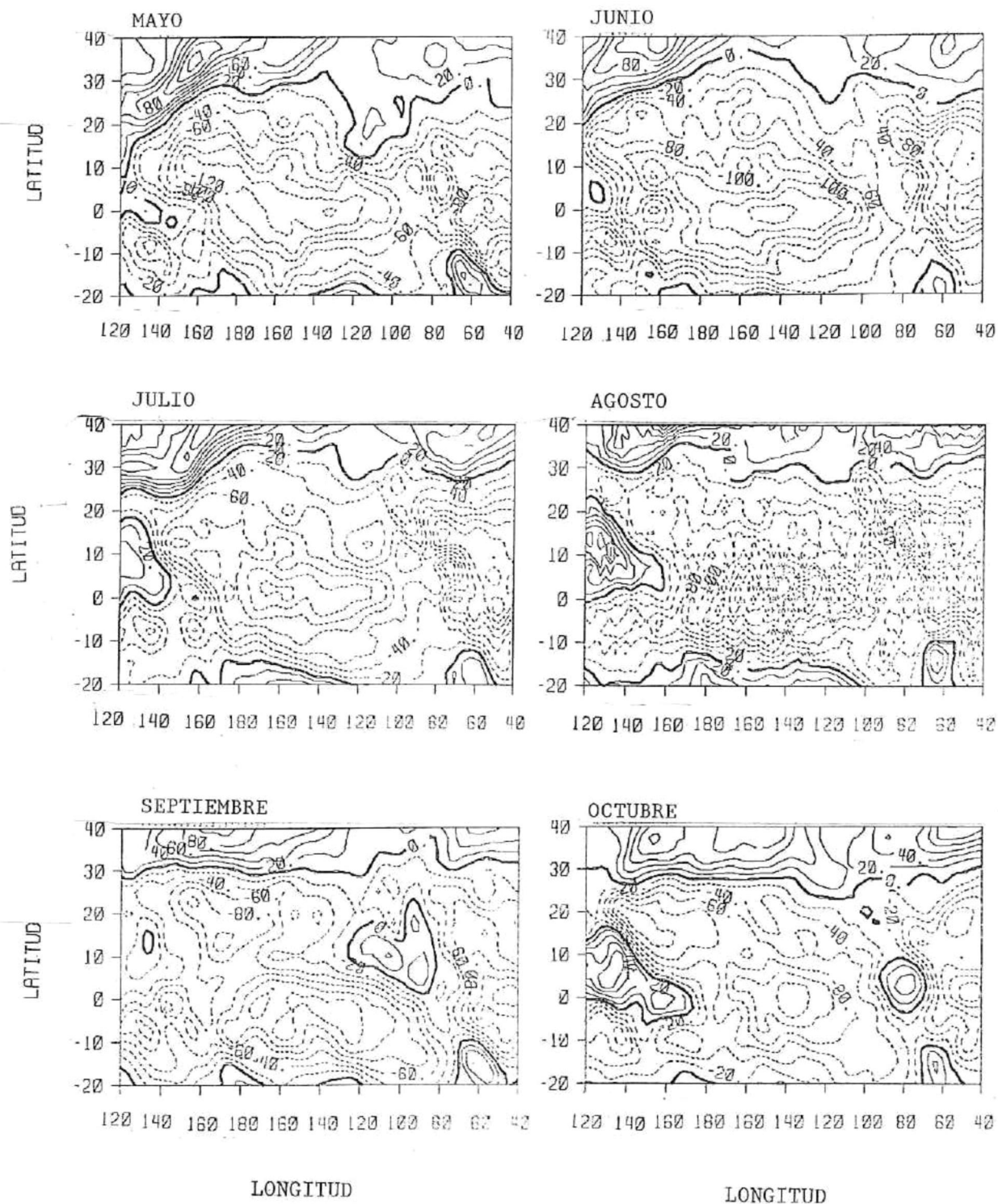


Fig. 8. - Promedios mensuales del flujo zonal de vapor de agua de Mayo a Octubre de 1979 del nivel II (de 850-700 mb). Las isolíneas punteadas indican flujo del este, las continuas flujo del oeste y la isolínea más gruesa indica flujo cero. Los intervalos son cada 20 Kg/m.s.

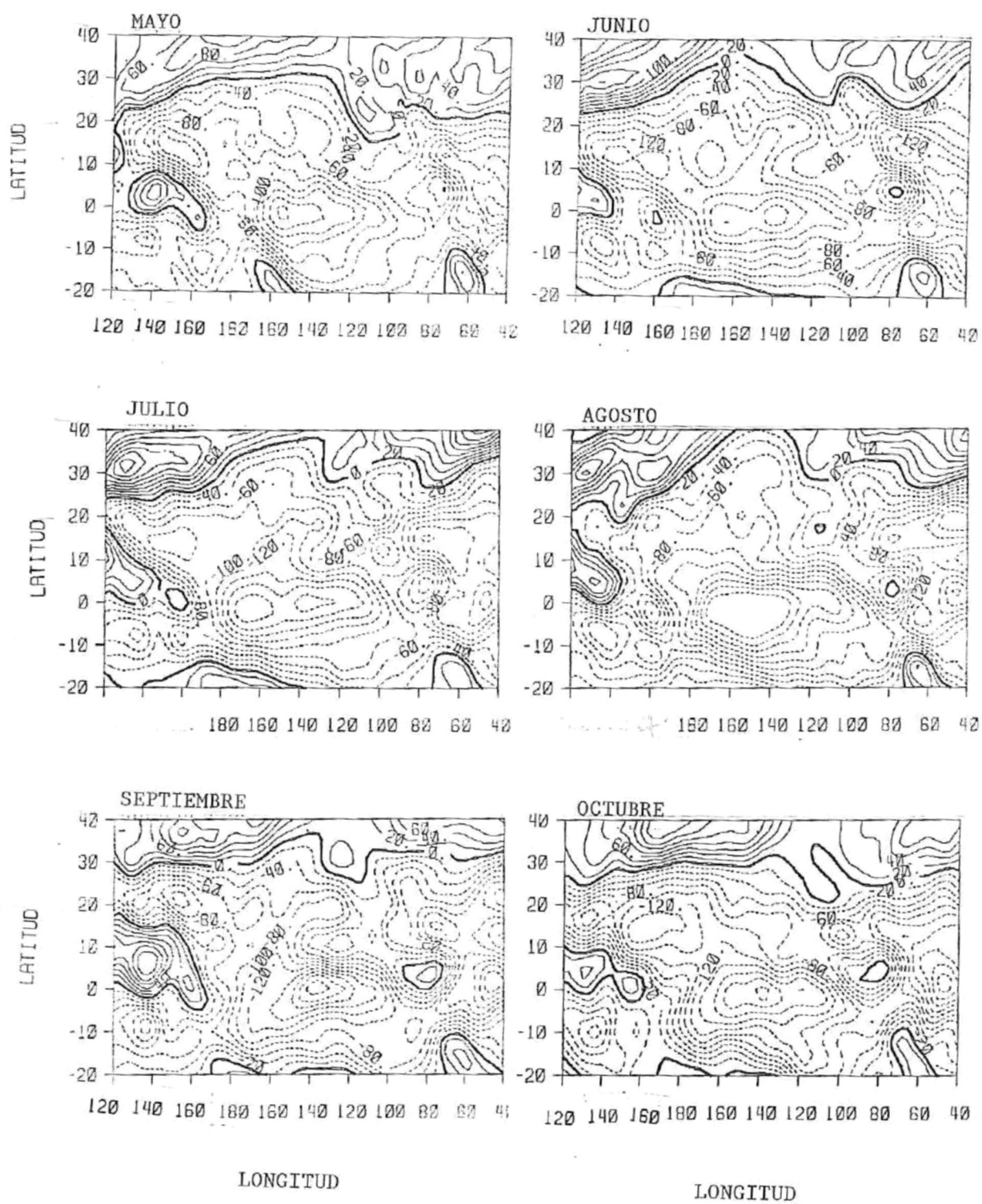


Fig. 9.- Lo mismo que la figura 8 solo que para 1980.

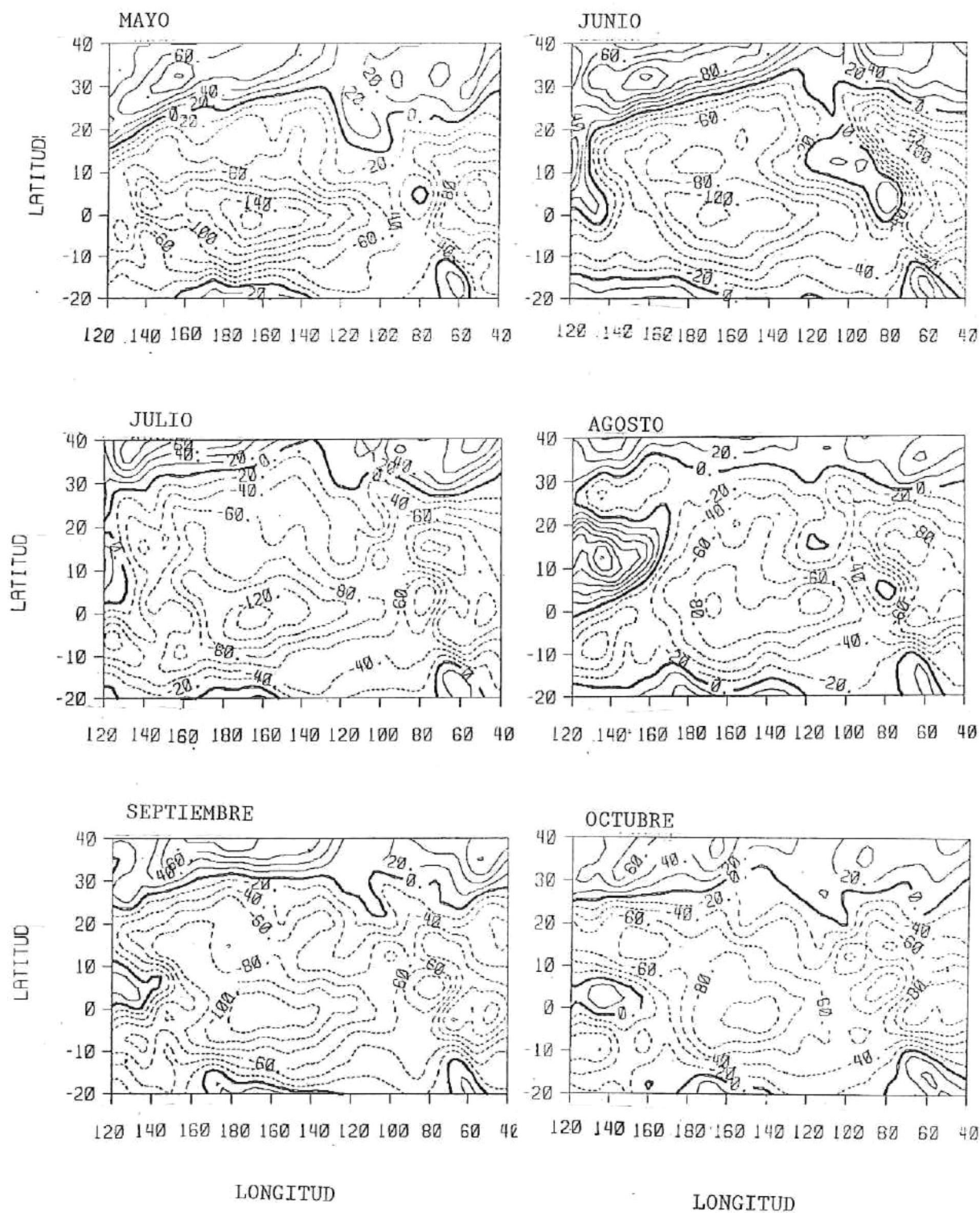


Fig. 10. - Lo mismo que la figura 8 solo que para 1981.

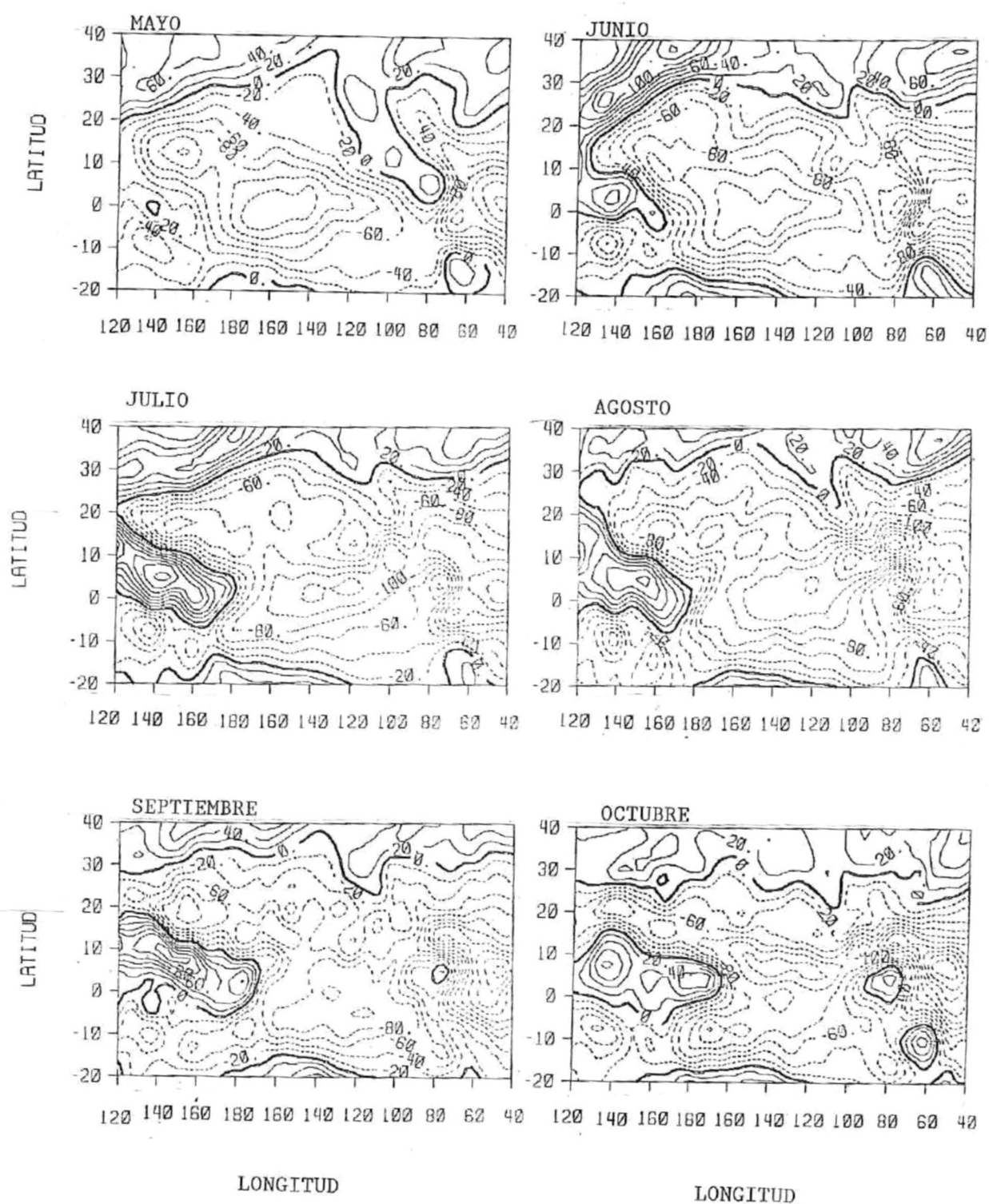


Fig. 11.- Lo mismo que la figura 8 solo que para 1982.

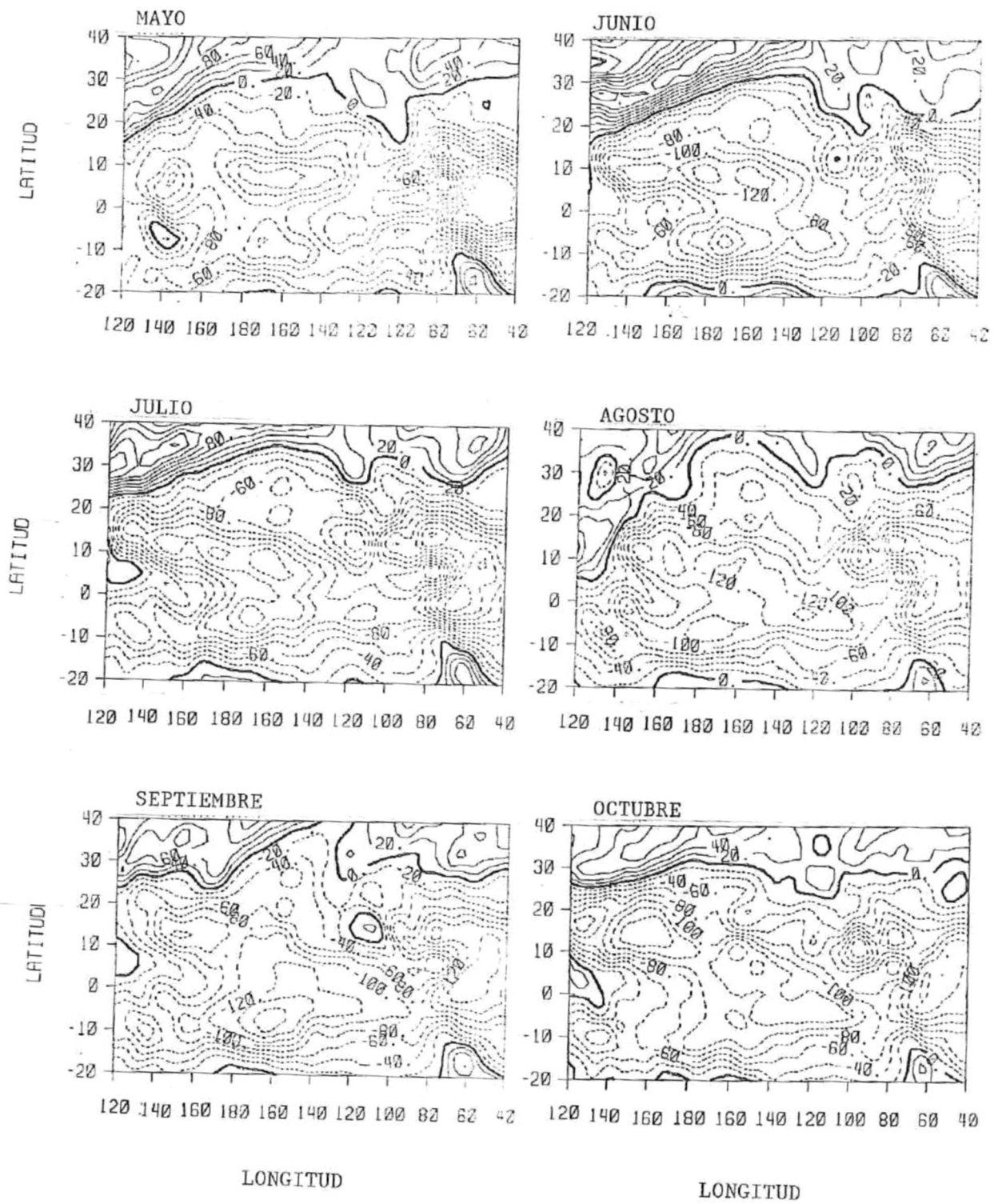


Fig. 12. - Lo mismo que la figura 9 solo que para 1993.

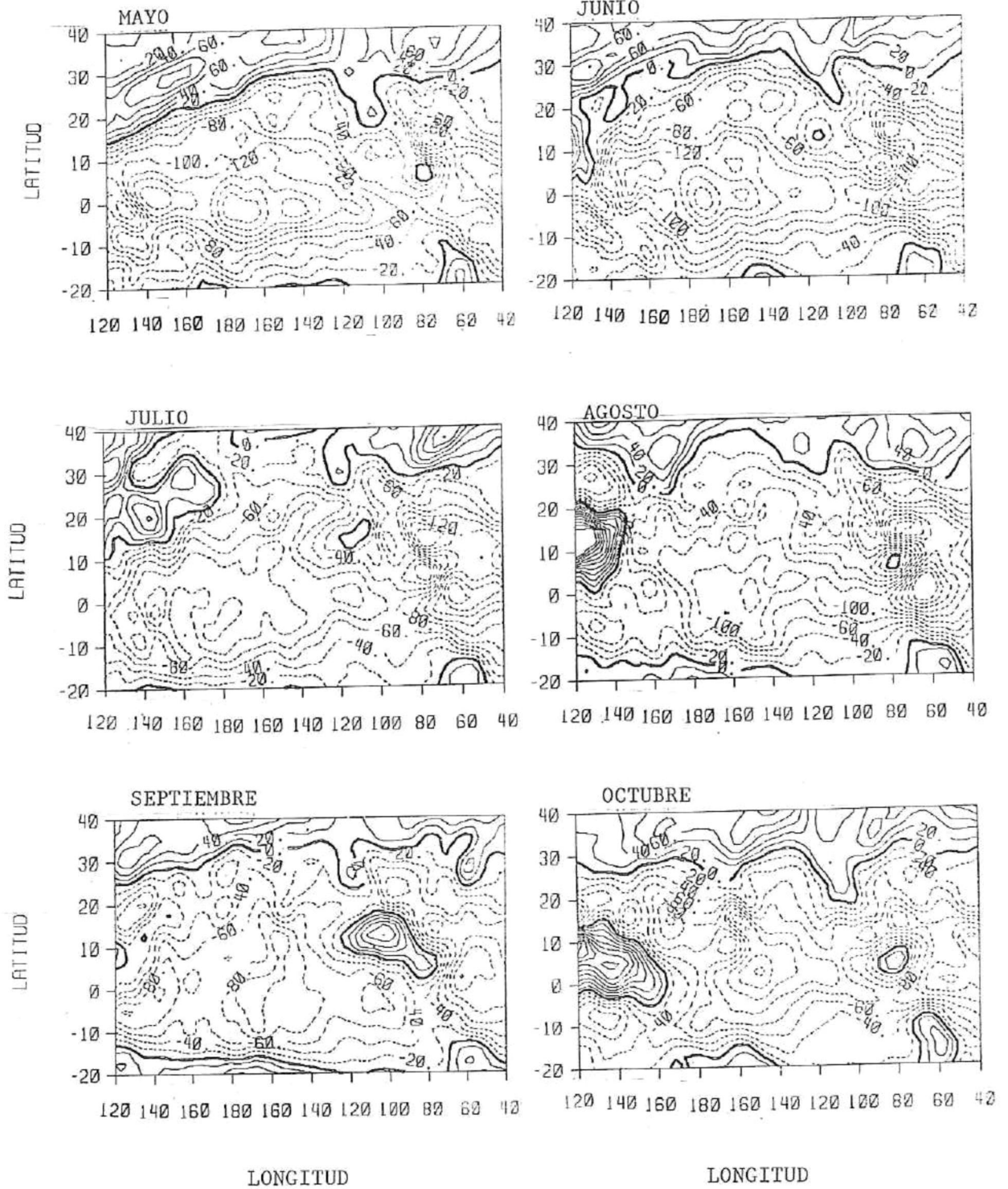


Fig. 13. - Lo mismo que la figura 8 solo que para 1984.

### c) Nivel III

En las figuras 14 a la 19 encontramos los promedios mensuales del FZVA del nivel III de 700 a 500 mb, en donde se observa que el patrón de flujo de este nivel es parecido al de los otros niveles en cuanto a que el flujo del este domina la región tropical, pero los niveles I y II son más parecidos entre sí que el nivel III con cualquiera de los otros dos, ya que el flujo del oeste ahora ocupa mayor espacio de los 25 grados N - 40 grados N y de 25 grados S - 10 grados S, esto es, de manera general ya que las isolíneas en éste nivel son muy irregulares.

Las magnitudes de los flujos en este nivel son menores en comparación con el nivel II y considerablemente más pequeños que el nivel I.

#### 3.1.2 Diferencias entre Niveles

En el nivel I es donde encontramos los máximos valores de flujo de 200 Kg/m·s específicamente sobre la región de Las Antillas y noreste de Sudamérica en los meses de Junio y Julio de 1980 (Fig. 9) y de Junio-Agosto de 1983 (Fig. 12), mientras que en el nivel II los máximos son de 140 Kg/m s sobre las mismas regiones, además de Septiembre de

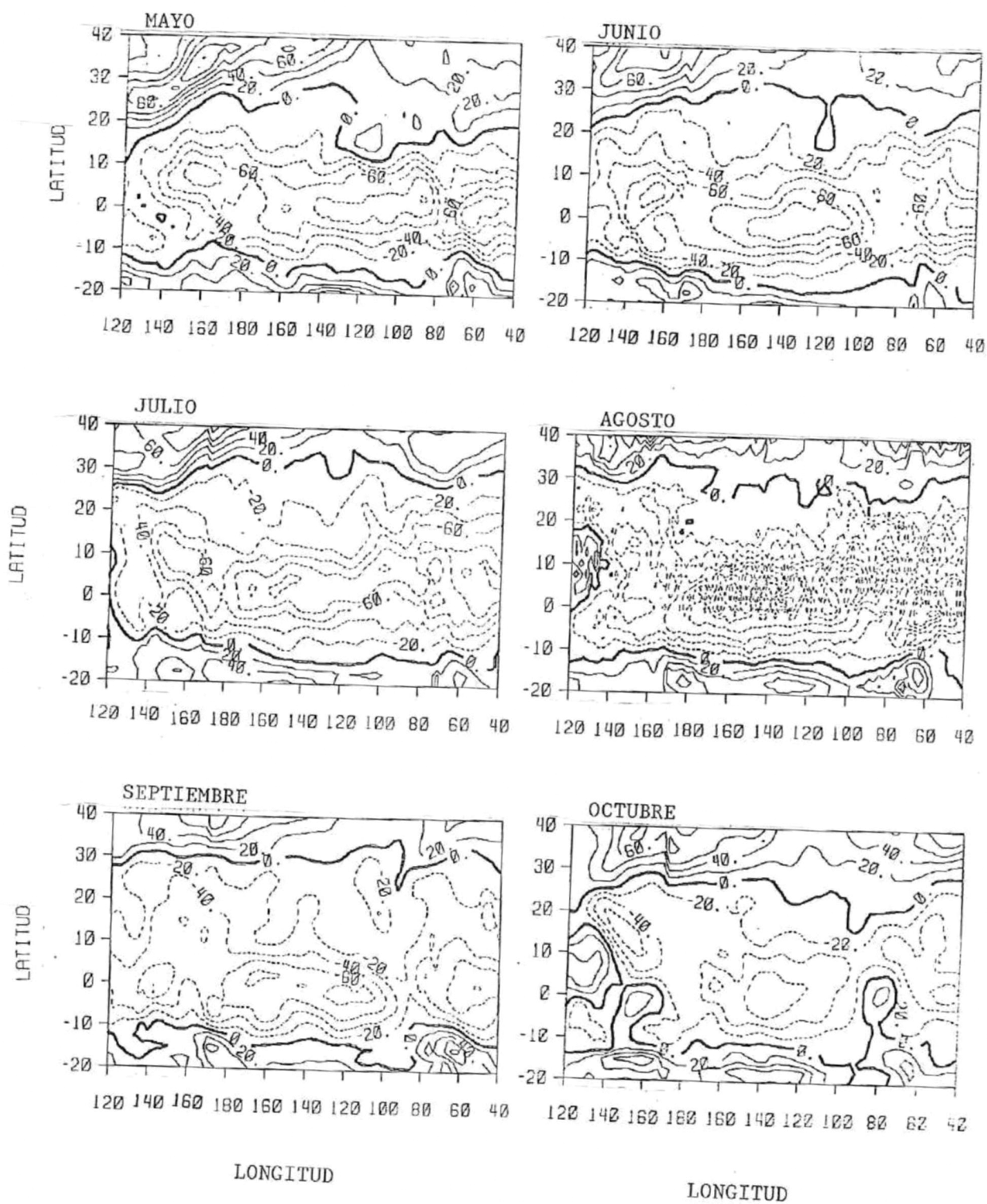


Fig. 14. - Lo mismo que la figura 9 solo que para el nivel III ( de 700-500 mb) de 1979.

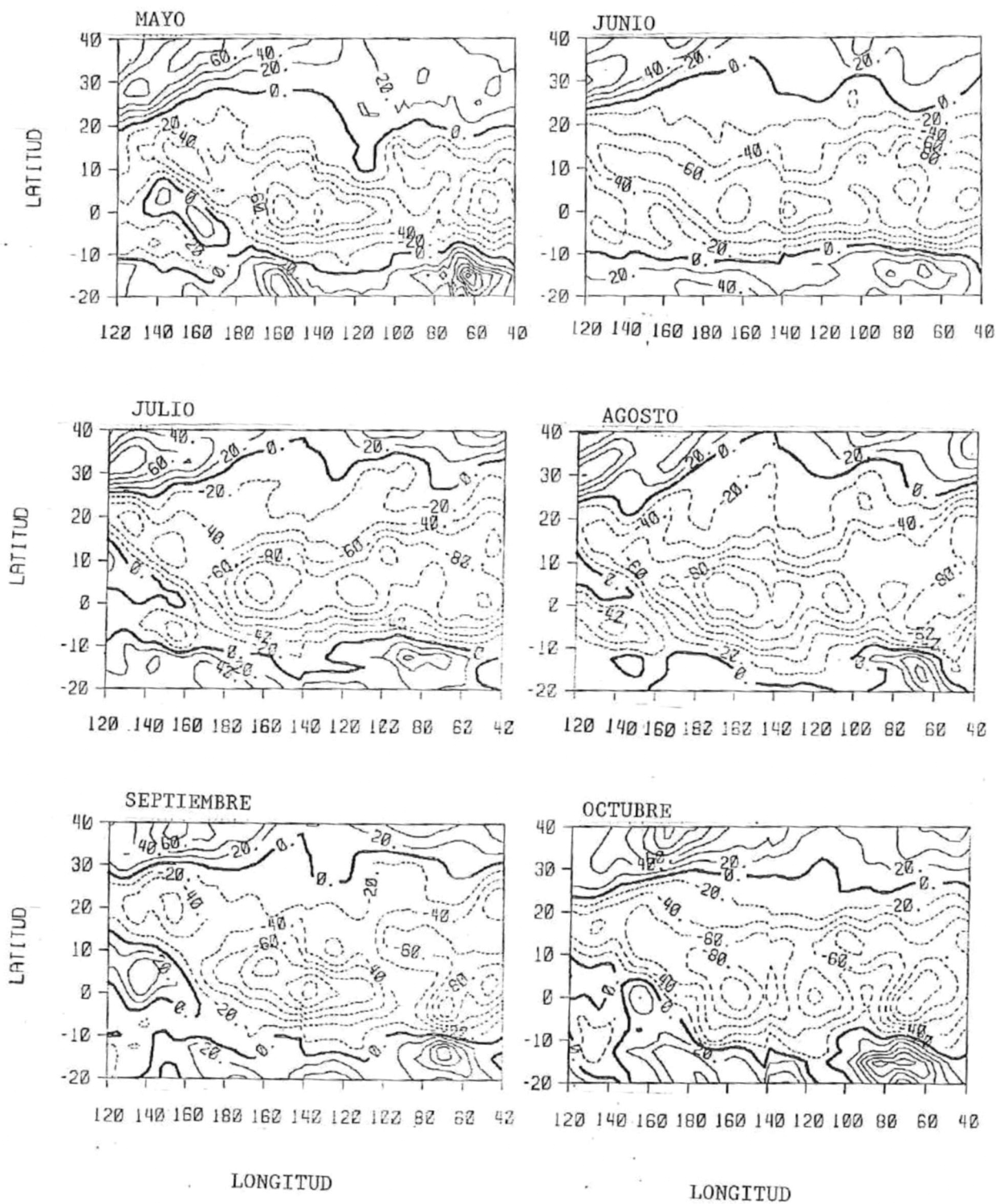


Fig. 15. - Lo mismo que la figura 8 solo que para el nivel III de 1980.

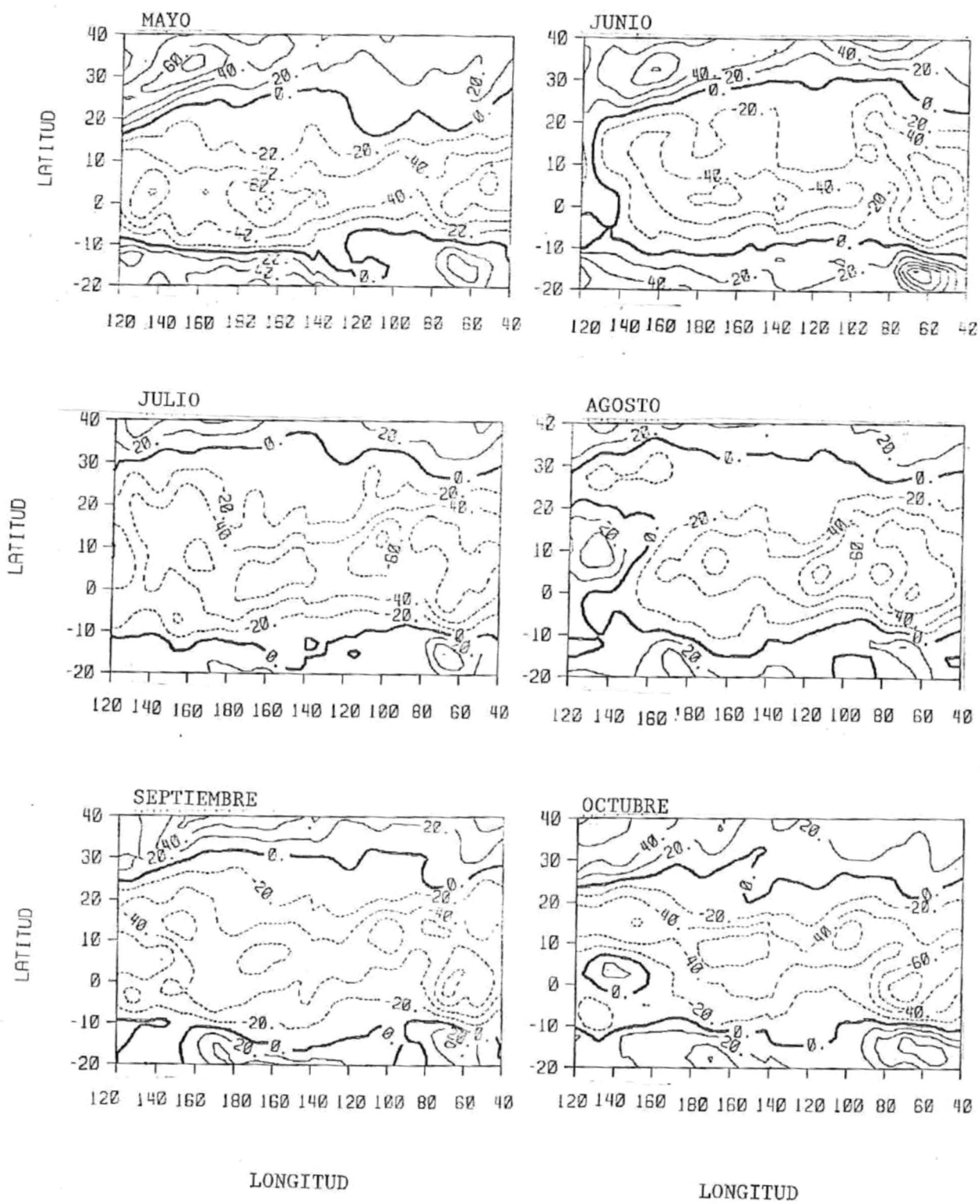


Fig. 16. - Lo mismo que la figura 8 solo que para el nivel III de 1981.

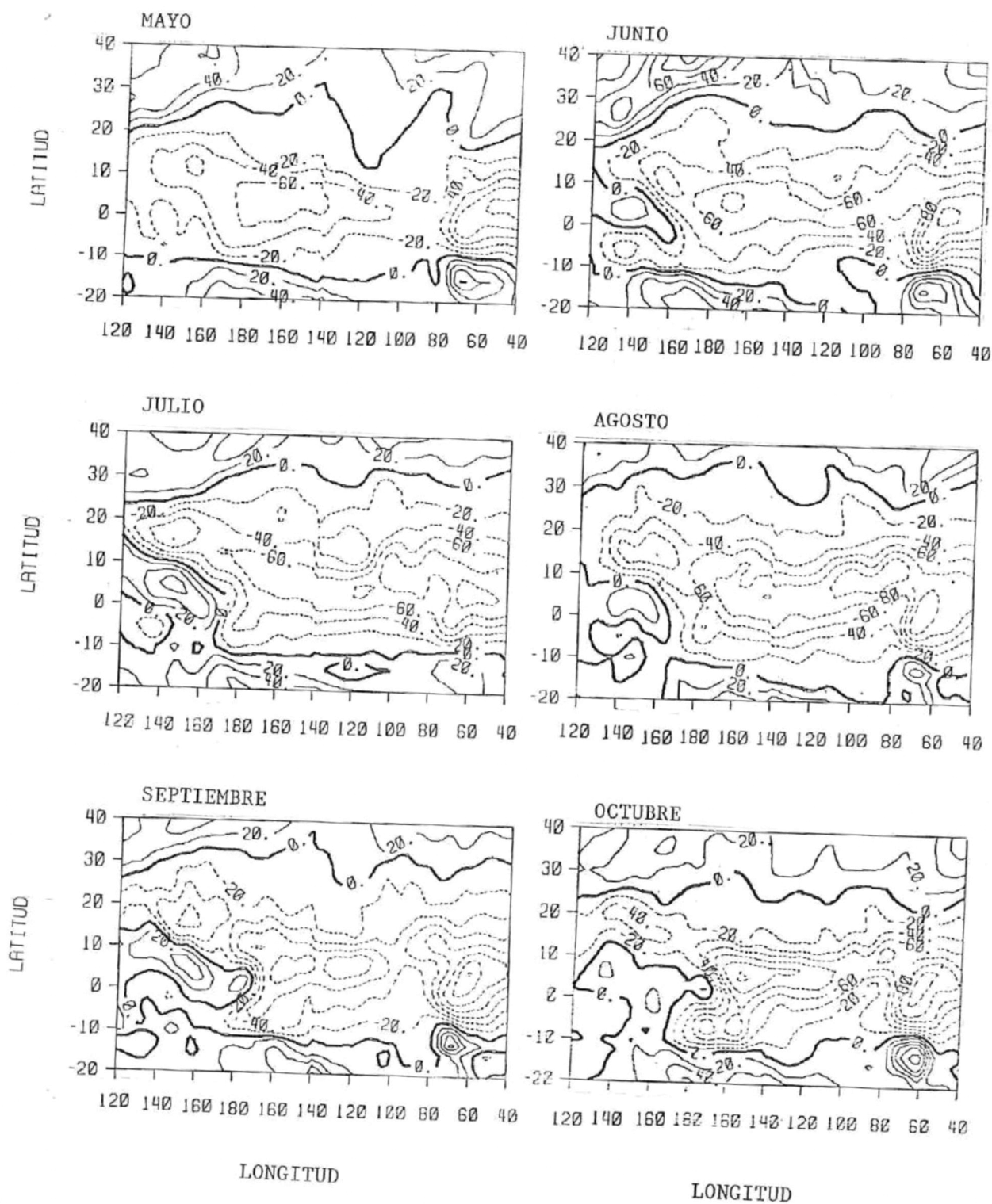


Fig. 17.- Lo mismo que la figura 8 solo que para el nivel III de 1982.

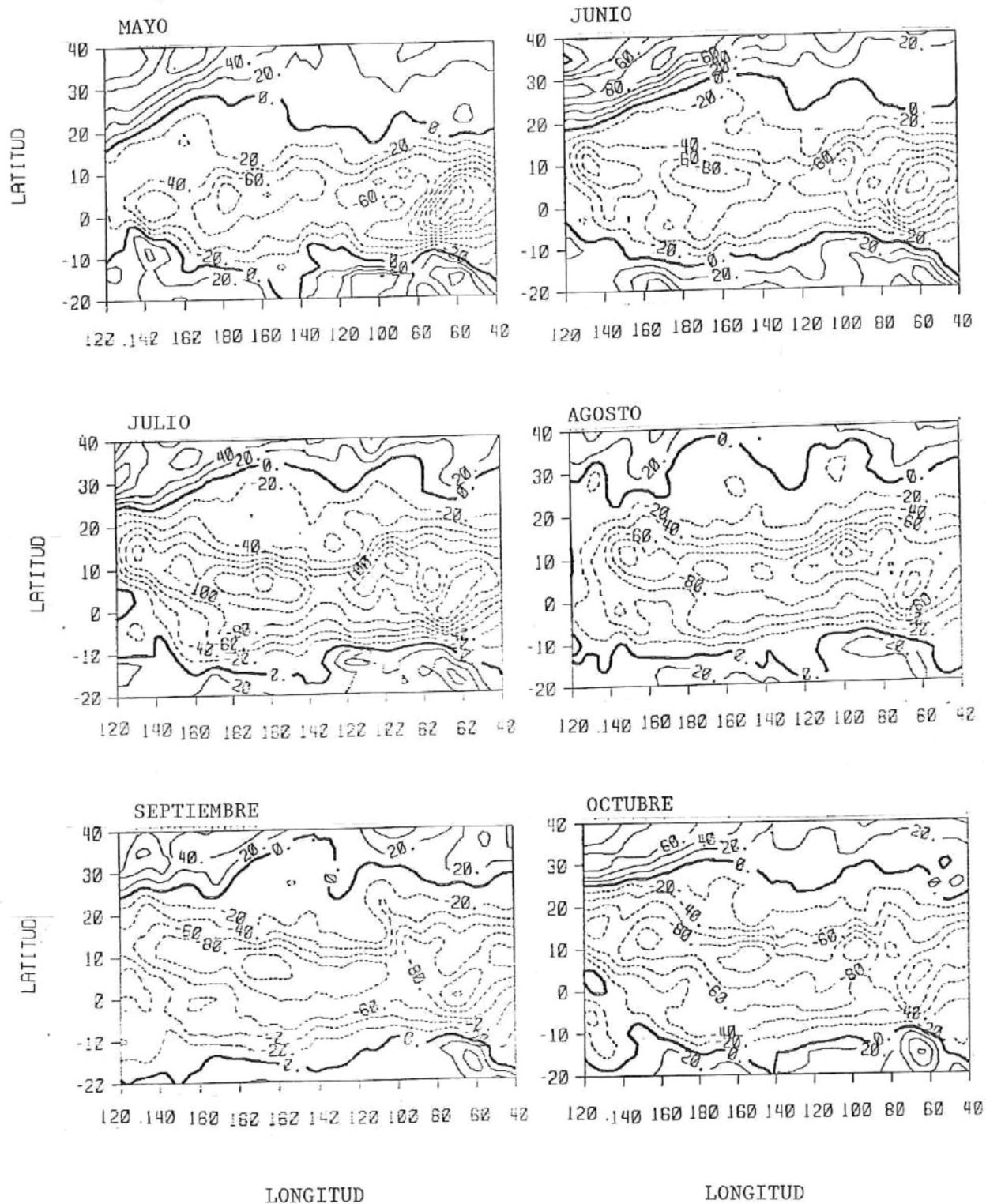


Fig. 18. - Lo mismo que la figura 8 solo que para el nivel III de 1983.

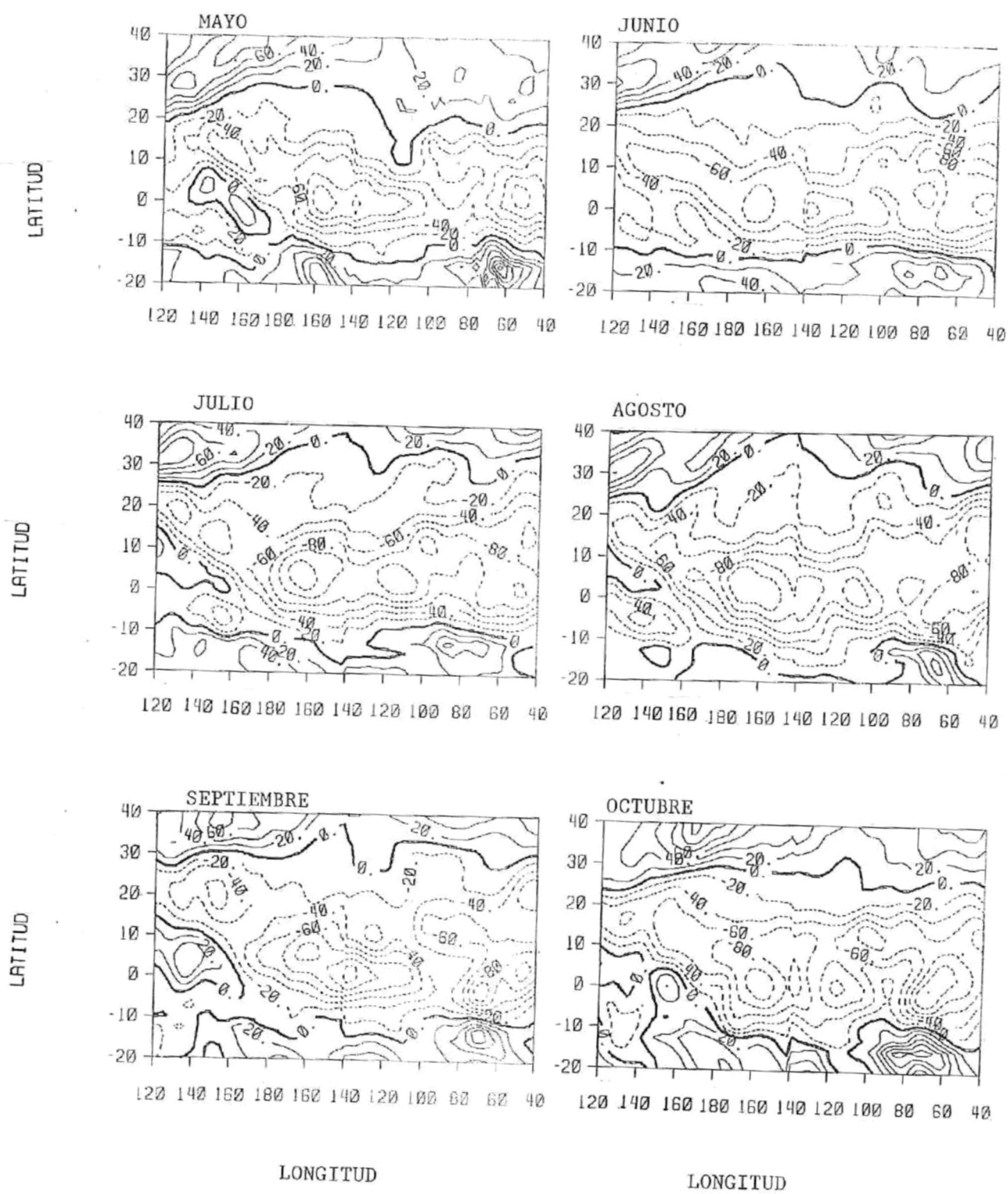


Fig. 19. - Lo mismo que la figura B solo que para el nivel III de 1984.

1980 (Fig. 9) y 1983 (Fig. 12).

Es posible observar también que durante todos los años el nivel II tiene más ó menos las mismas magnitudes, a excepción de algunos meses (mencionados anteriormente), en donde se encuentran los máximos al igual que en el nivel III. En el nivel II durante el año de 1981 se observan valores menores en relación con los otros años del mismo nivel (Fig. 10).

En el nivel I también se aprecia un centro de flujo del oeste que se empieza a desarrollar en el mes de Mayo de todos los años, excepto para 1982 en donde está ausente, mientras que aparece de Junio-Octubre ocupando la mayor área y teniendo aproximadamente la misma magnitud en éstos meses (Fig. 11). En el nivel II ocurre algo similar, pero no así para el nivel III, donde sólo aparece éste centro de flujo como tal en Septiembre de 1980.

### 3.2 Promedios Mensuales del Flujo Meridional de Vapor de Agua

#### 3.2.1 Características Generales

##### a) Nivel I

De la figura 20 a la 25 se presenta el comportamiento

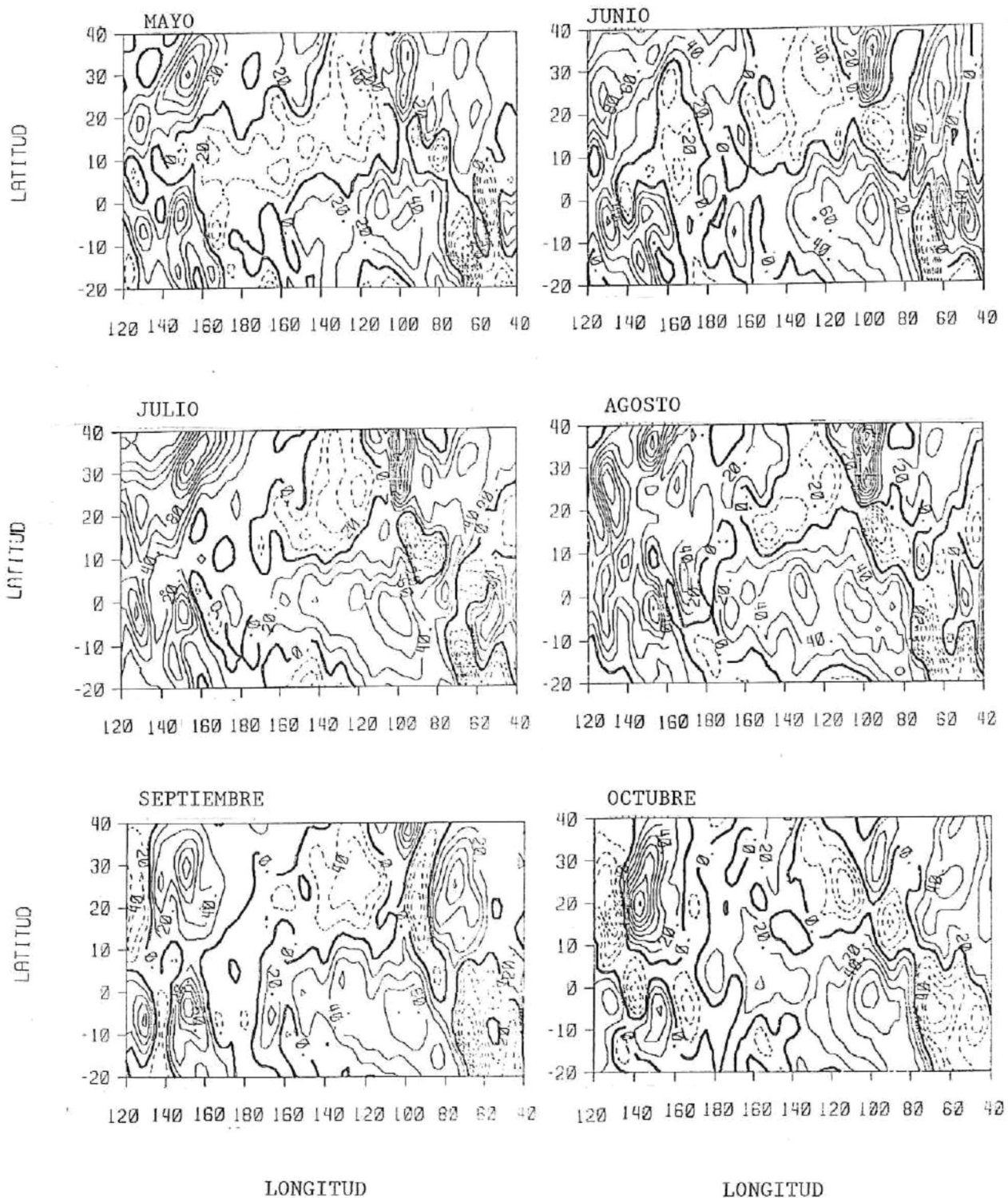


Fig. 20. - Promedios mensuales del flujo meridional de vapor de agua de Mayo a Octubre de 1979 del nivel I. Las isolíneas punteadas indican flujo del norte, las continuas flujo del sur y la isolínea más gruesa denota flujo cero. Las unidades están dadas en  $\text{Kg/m}\cdot\text{s}$ .

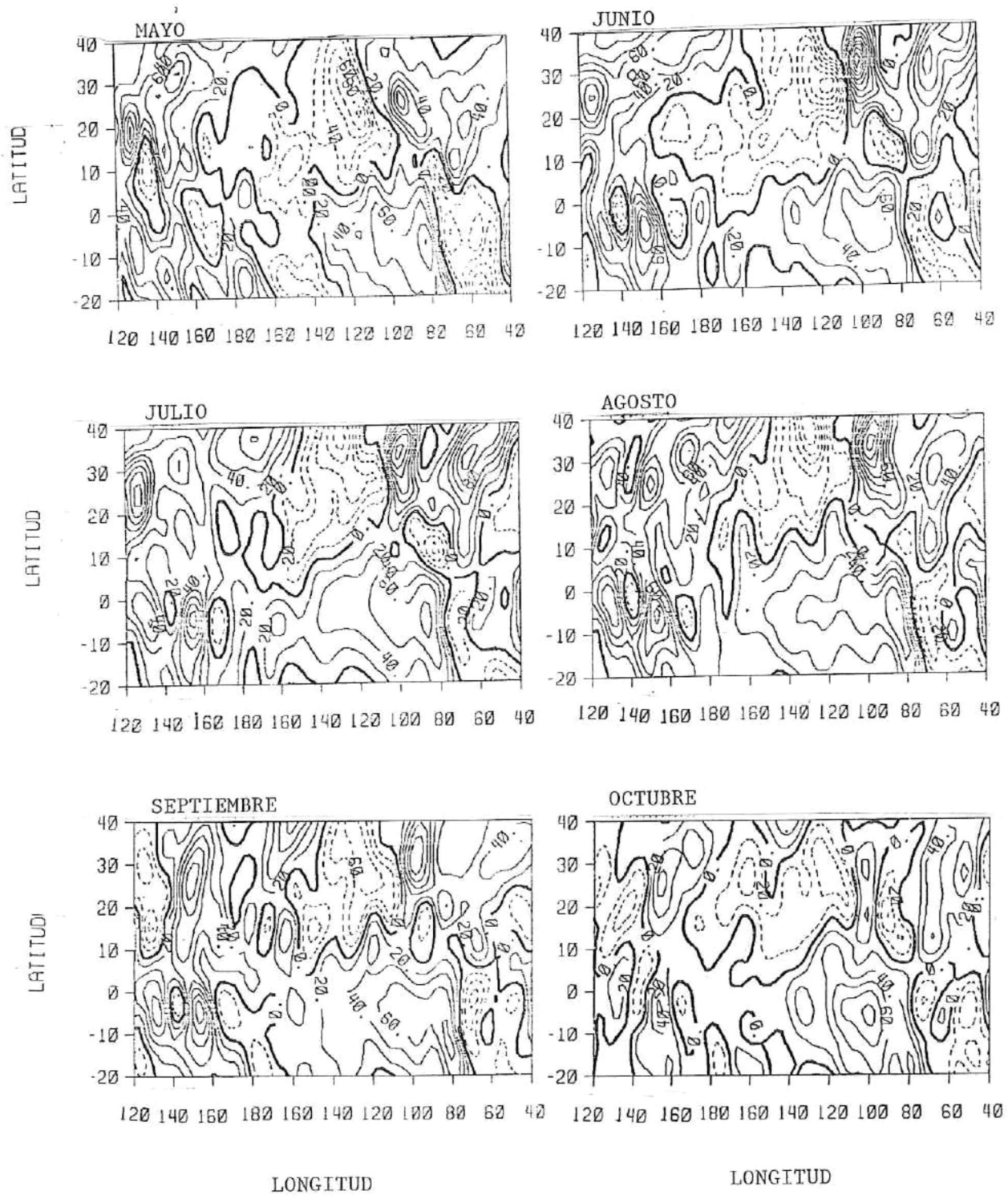


Fig. 21. - Lo mismo que la figura 20 solo que para 1980.

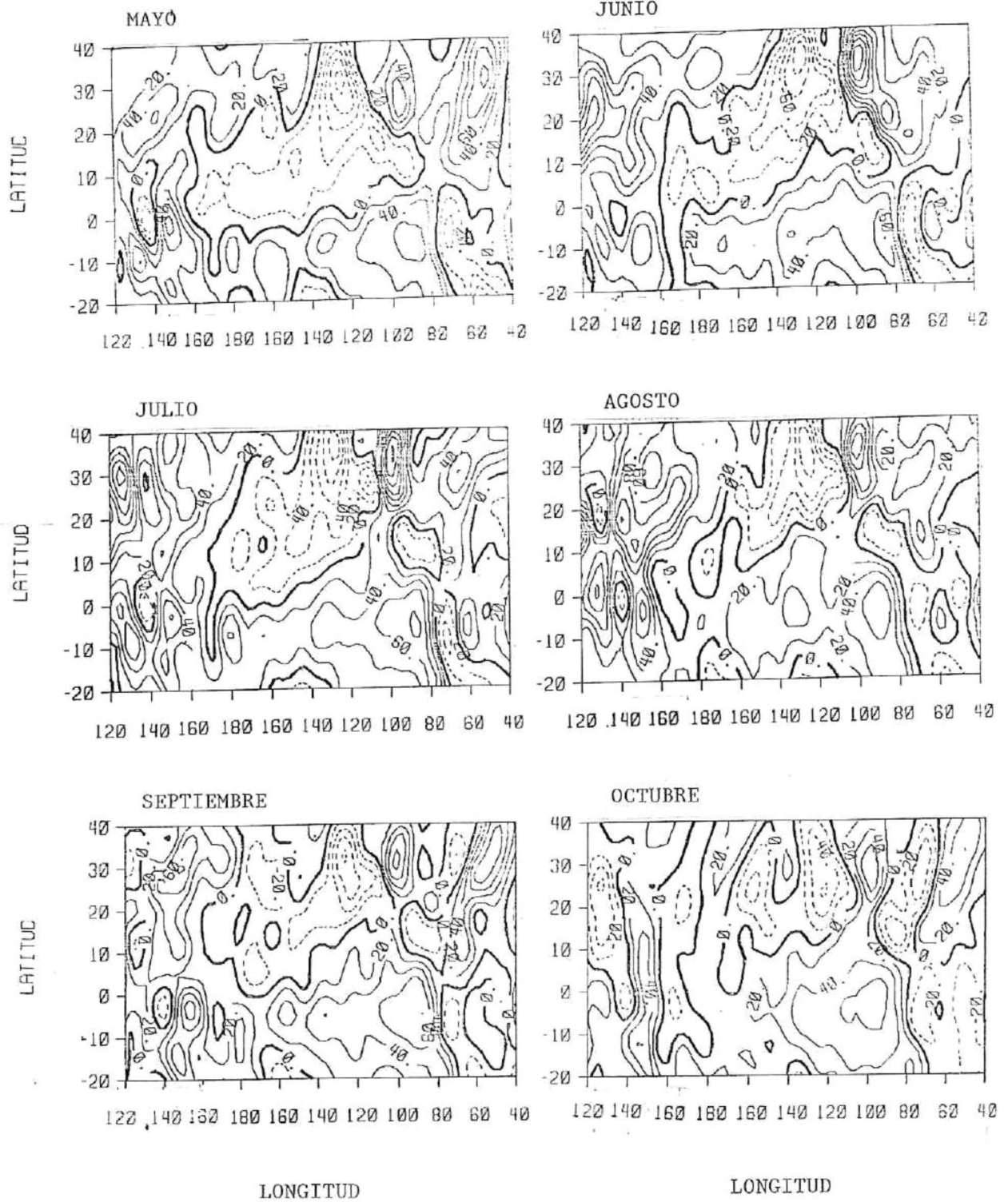


Fig. 22. - Lo mismo que la figura 20 solo que para 1981.

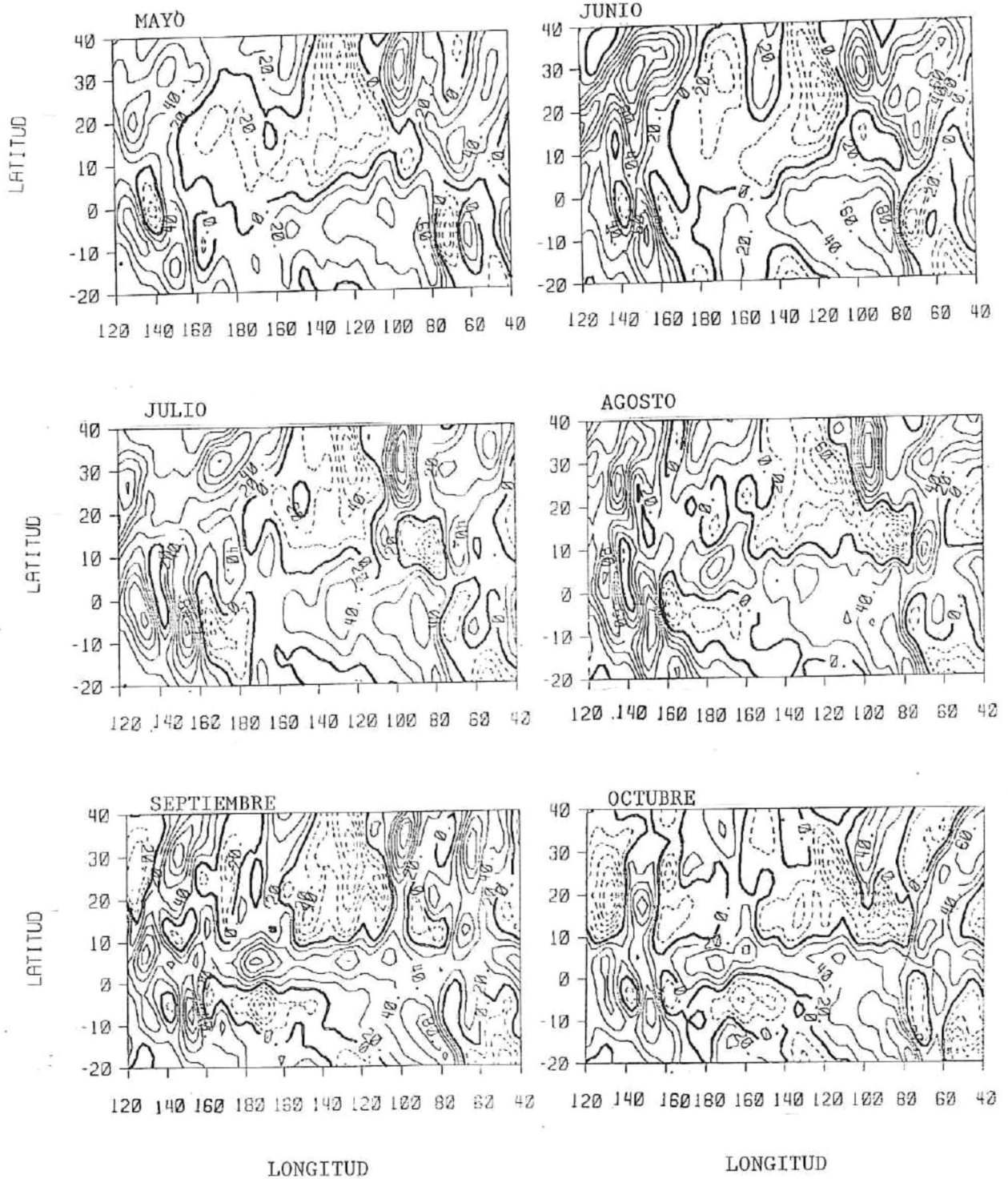


Fig. 23. - Lo mismo que la figura 20 solo que para 1982.

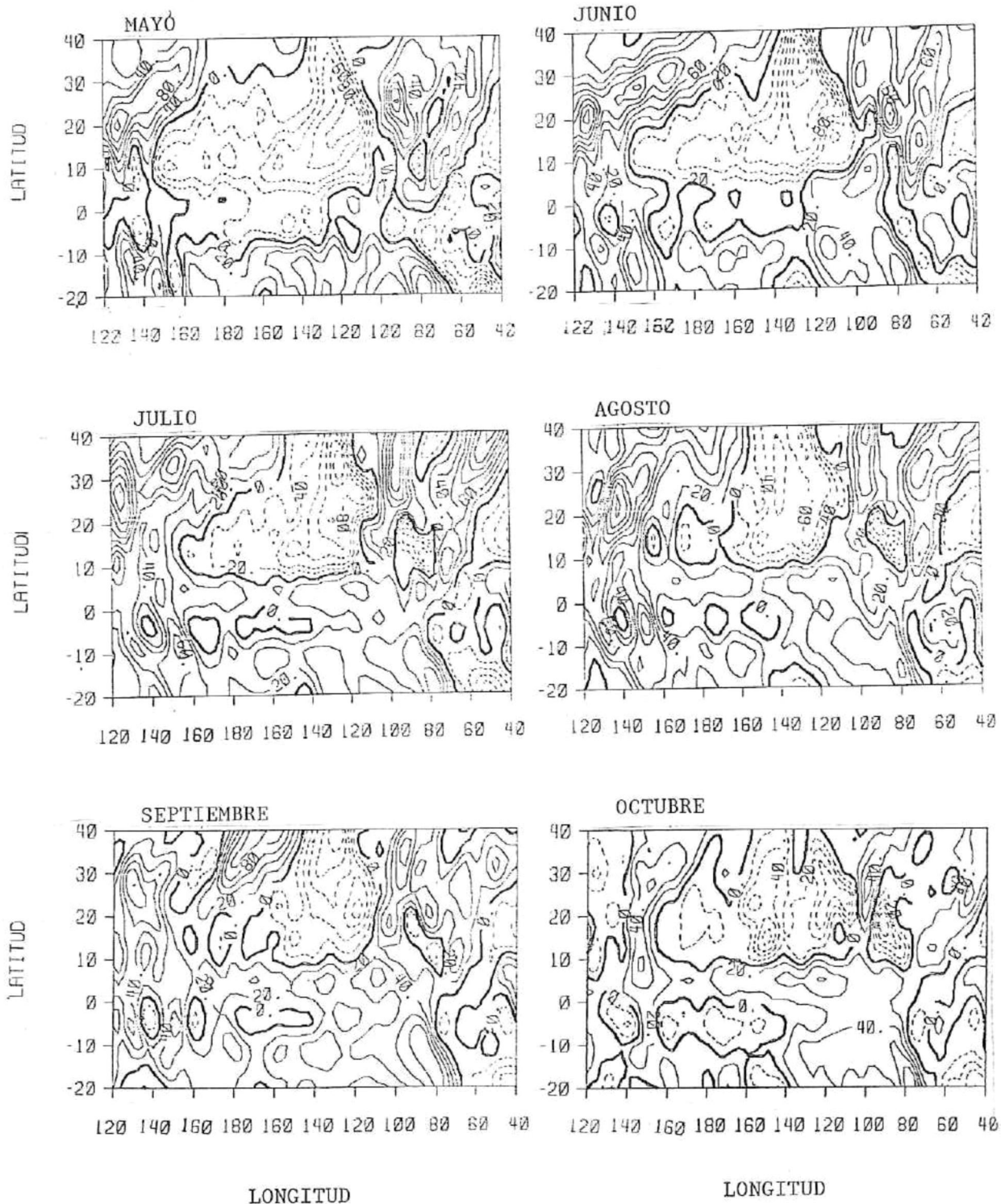


Fig. 24. - Lo mismo que la figura 20 solo que para 1983.

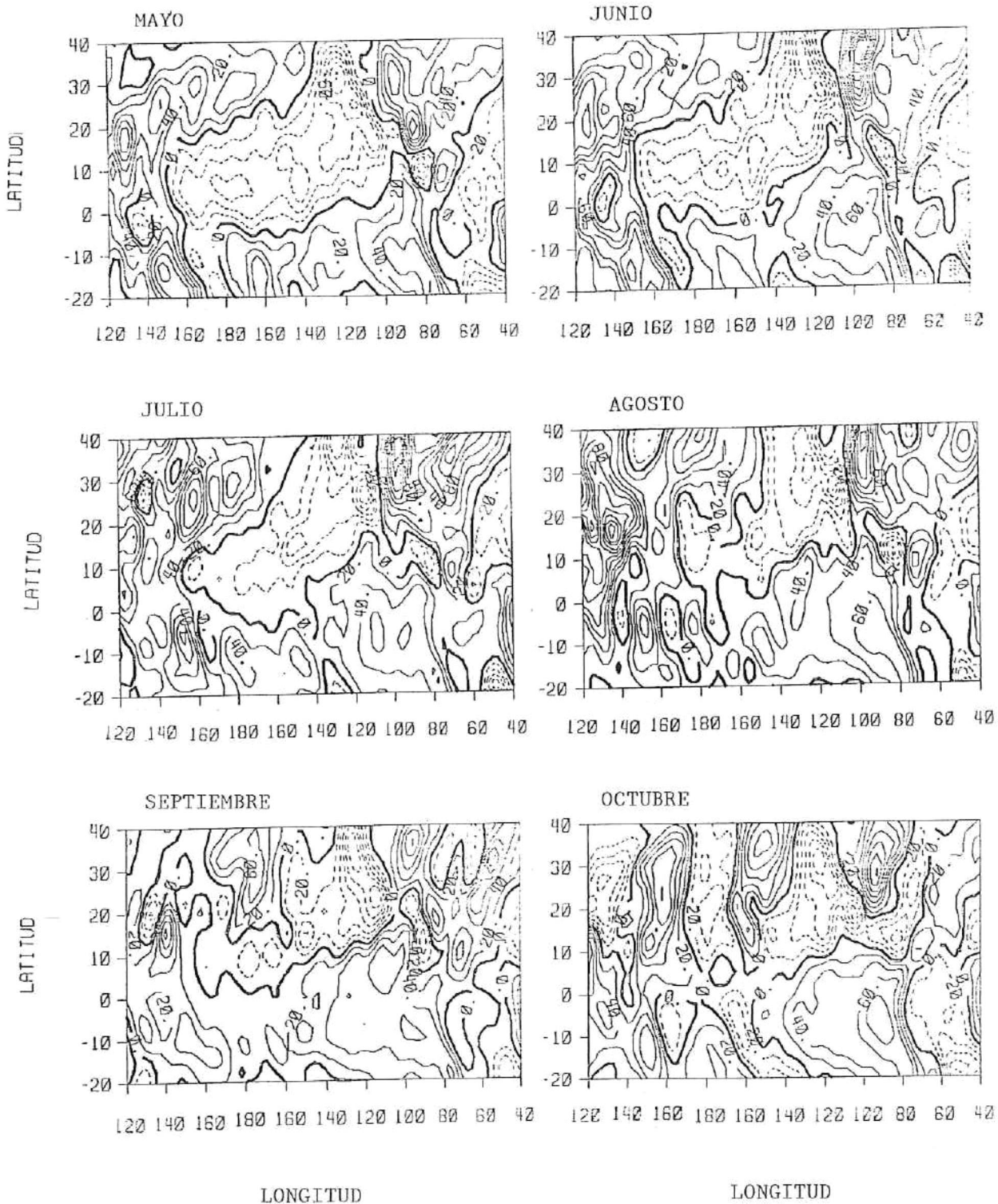


Fig. 25. - Lo mismo que la figura 20 solo que para 1984.

del flujo meridional de vapor de agua (FMVA) en la capa de 1000 a 850 mb. En general éste flujo tiene una estructura muy complicada, por lo mismo, en ésta tesis concentraremos la discusión a la estructura observada sobre la región del Océano Pacífico del este y del oeste americano. Se observa un dominio del flujo del norte (isolíneas punteadas) sobre las áreas del Océano Pacífico Norte, gran parte de Sudamérica, excepto en Julio de 1984 donde el área que ocupa es muy pequeña. Los máximos valores (mayores ó igual que 100 Kg/m·s) son encontrados en la región de Sudamérica de Mayo a Octubre de 1979 exceptuando el mes de Junio, Junio de 1980, Mayo de 1983, y al oeste de California durante Mayo-Agosto de 1980, Mayo-Julio de 1981, Mayo, Junio y Septiembre de 1982, Junio, Julio y Septiembre de 1983 y 1984 exceptuando Agosto.

El flujo del sur (isolíneas continuas) es bastante más variable que el del norte, sufre un aumento hacia el norte y noreste de Mayo a Junio de todos los años, abriendo un canal entre 100 y los 110 grados W que alcanza su máximo en Julio. Se observan flujos anómalos en el Océano Pacífico sobre el ecuador en el año de 1982 y aumento sobre la vertiente del Pacífico mexicano en 1983.

## b) Nivel II

En éste nivel encontramos un mayor dominio del flujo del norte sobre el suroeste del Océano Pacífico de los 115 grados W a los 160 grados E y sobre la región de Sudamérica (ver de la figura 26 a la 31).

Aquí también se observa que la región de influencia del flujo del norte se ha desplazado hacia el sur, aunque entre las dos regiones mencionadas existe, sobre los 100 y 110 grados W, un dominio de flujo del sur en forma de canal que llega y atraviesa la vertiente del oeste de México hacia el norte y solamente se ve interrumpido parcialmente en algunos meses.

## c) Nivel III

De la figura 32 a la 37 se muestra el promedio mensual del FMVA del nivel III de 700 a 500 mb en donde se observa que los flujos del norte y del sur están casi dominando por igual el área estudiada, son completamente heterogéneos, las isolíneas son irregulares y no se distingue un patrón de flujo del sur.

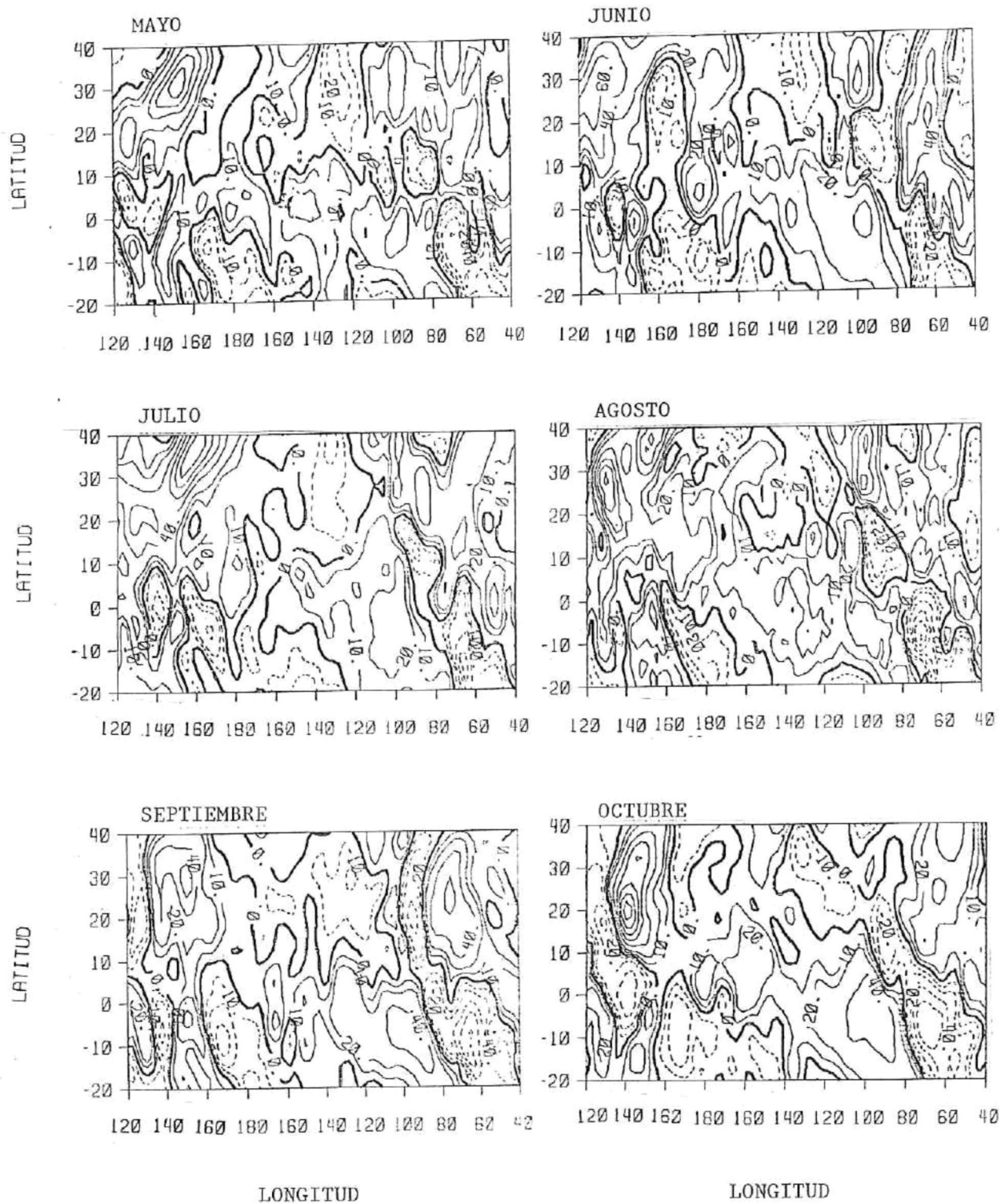


Fig. 26. - Lo mismo que la figura 20 solo que para el nivel II de 1979.

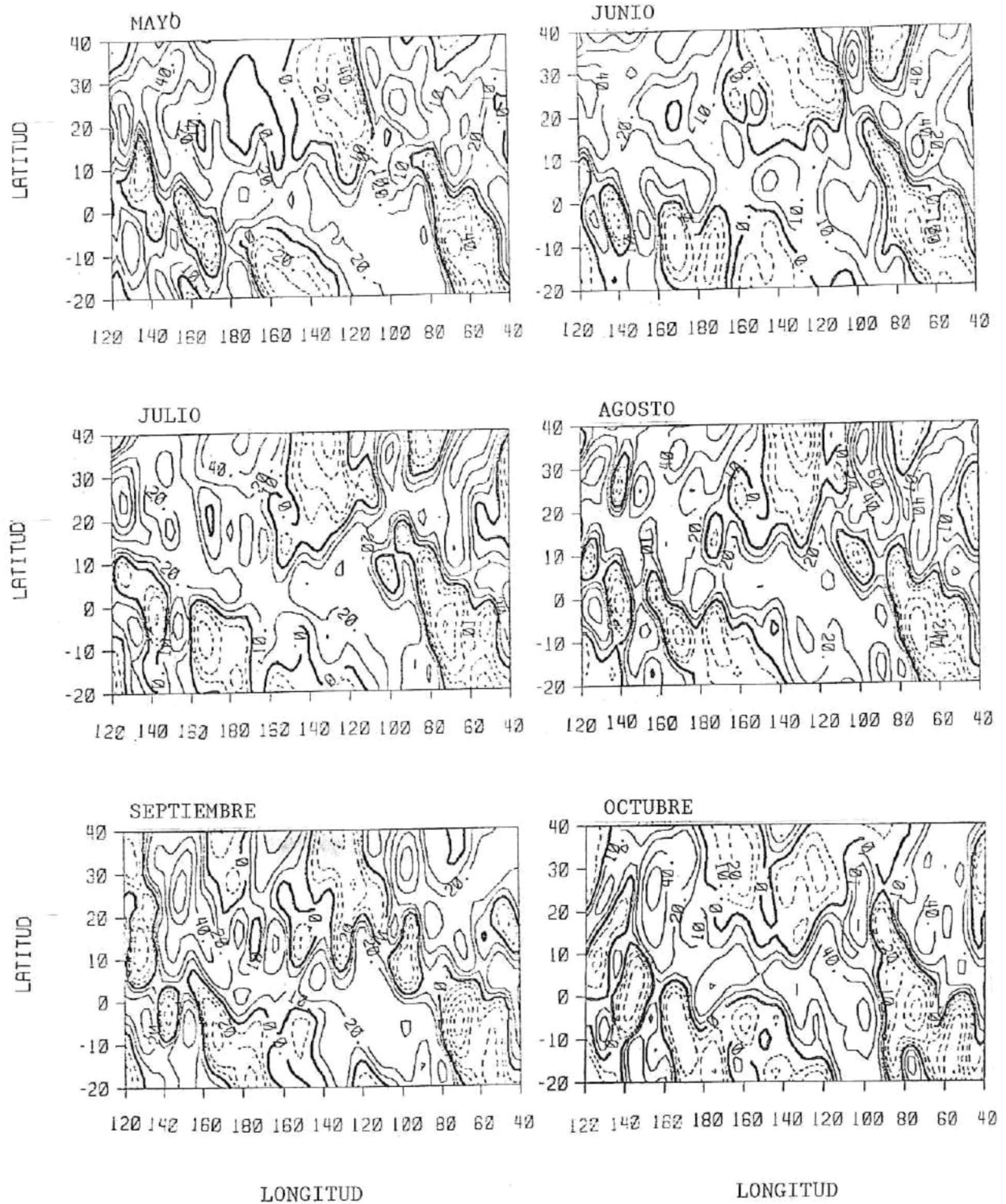


Fig. 27.- Lo mismo que la figura 20 solo que para el nivel II de 1980.

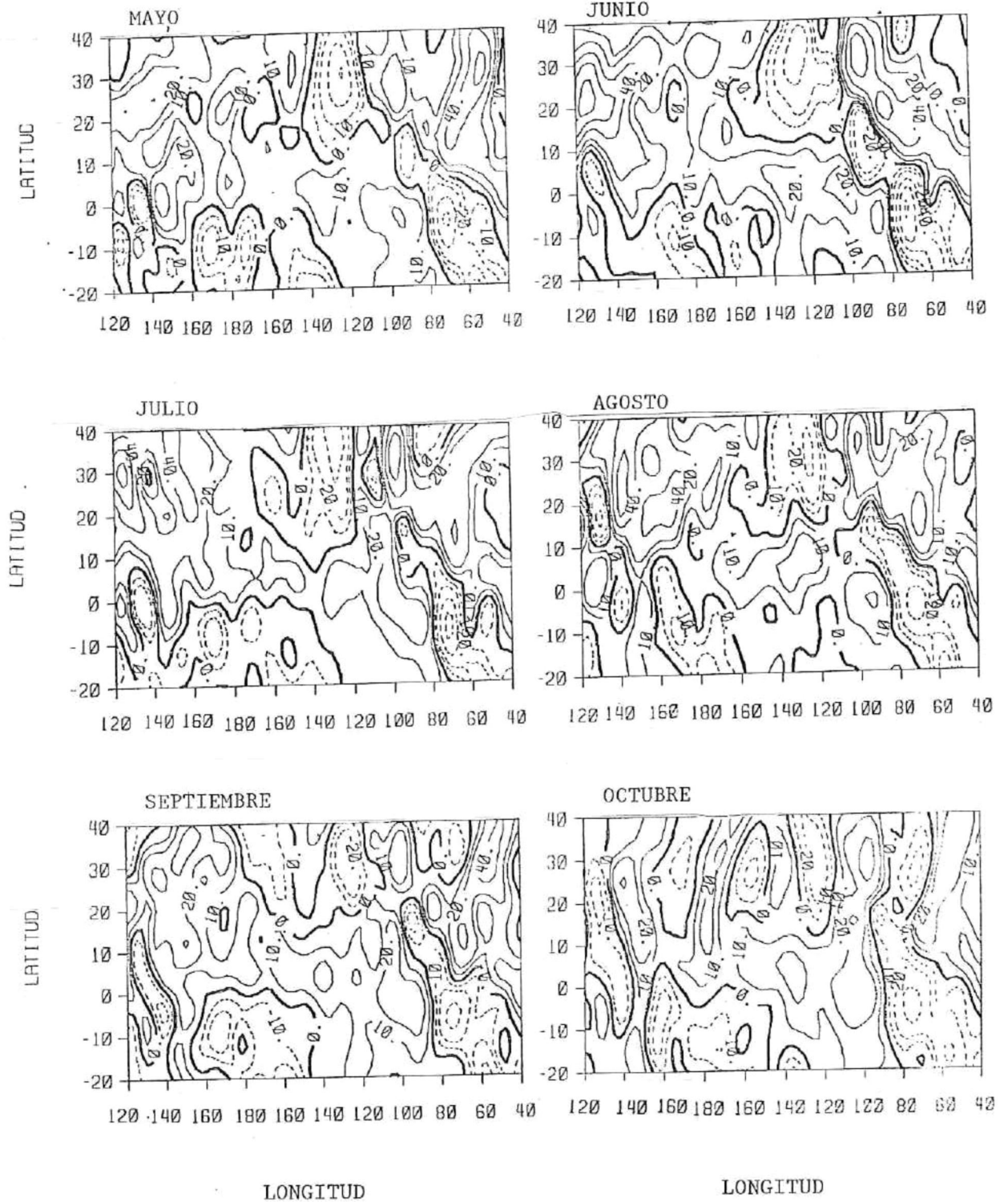


Fig. 28.- Lo mismo que la figura 20 solo que para el nivel II de 1981.

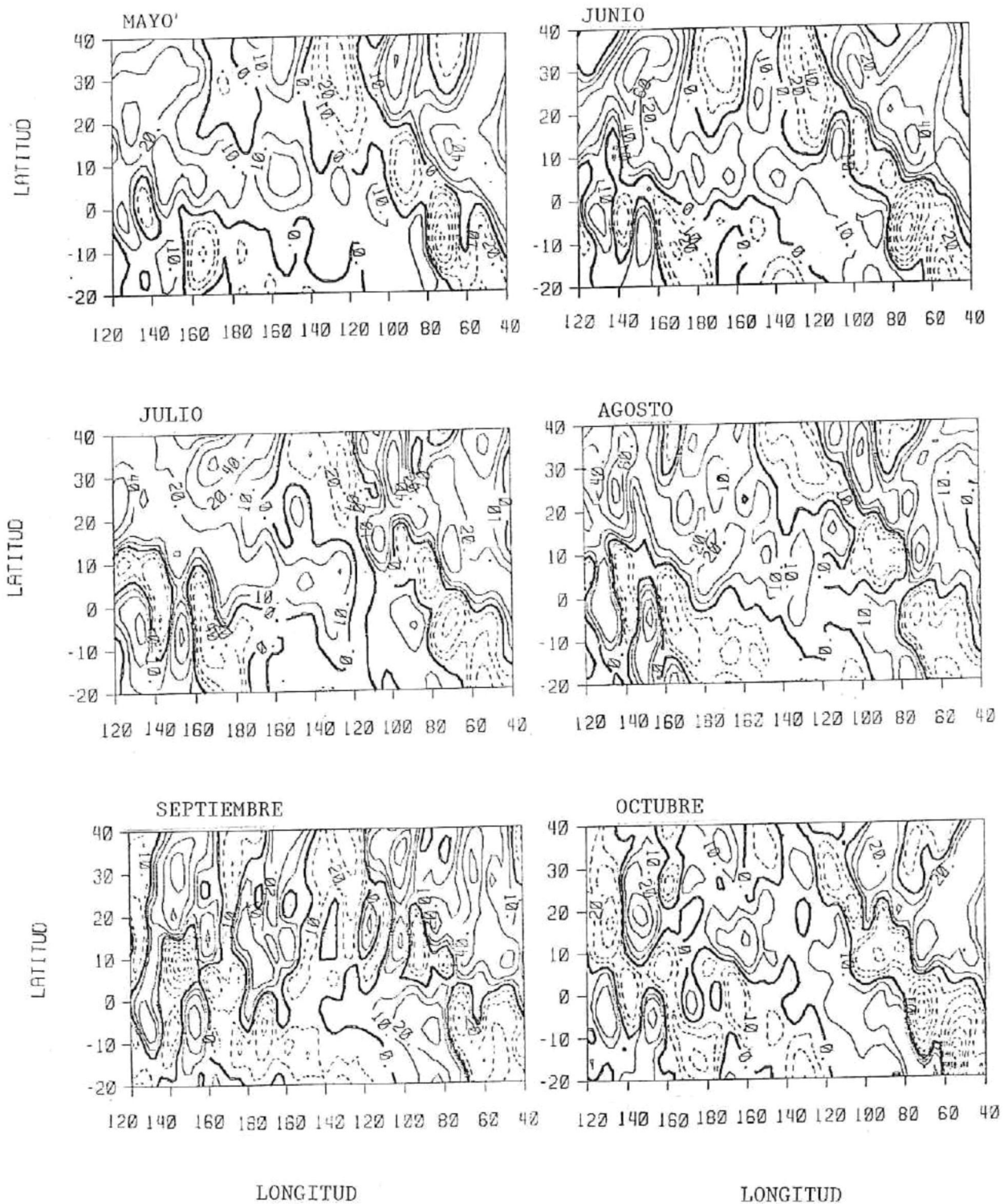


Fig. 29. - Lo mismo que la figura 20 solo que para el nivel II de 1982.

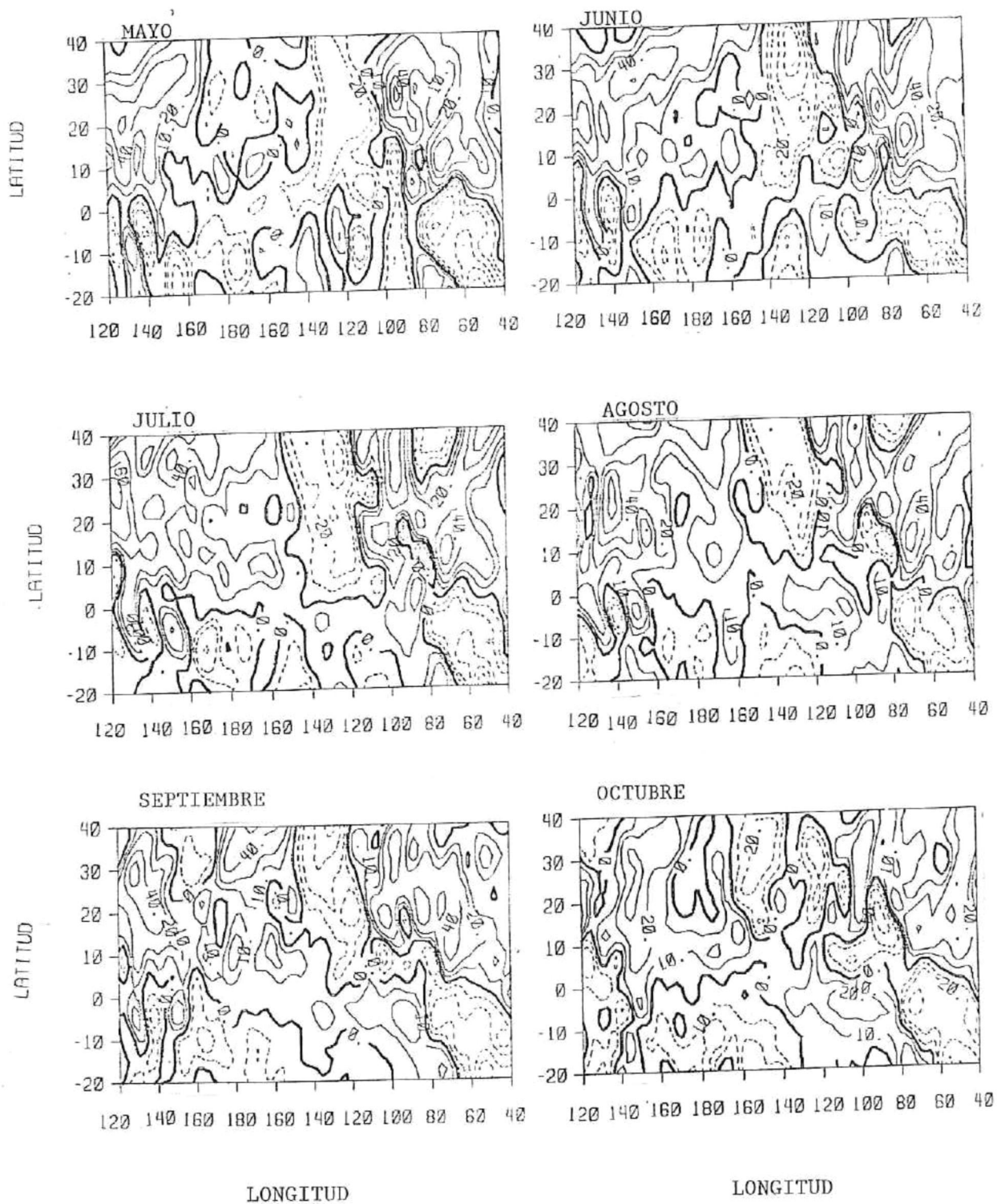


Fig. 30. - Lo mismo que la figura 20 solo que para el nivel II de 1983.

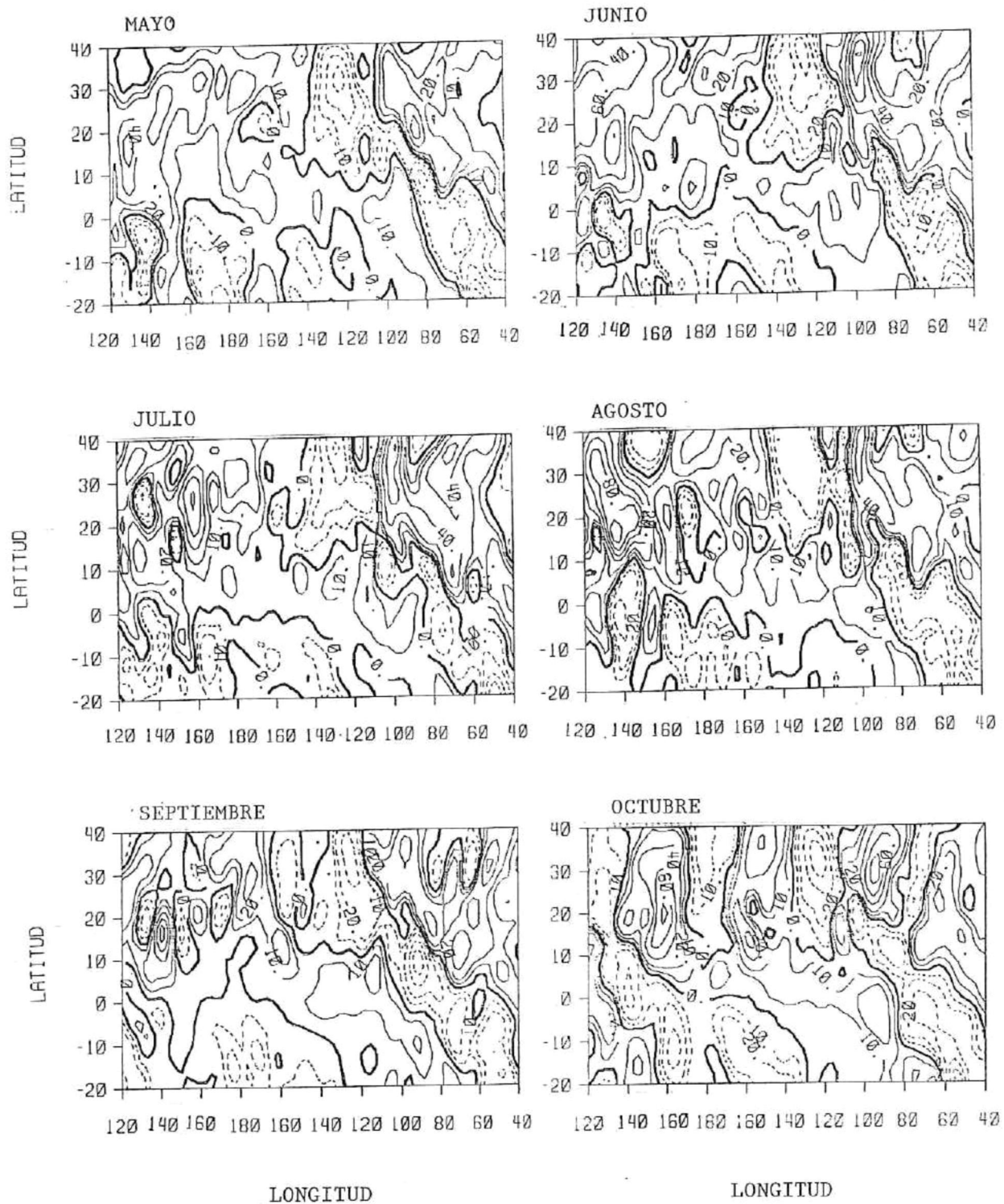


Fig. 31. - Lo mismo que la figura 20 solo que para el nivel II de 1984.

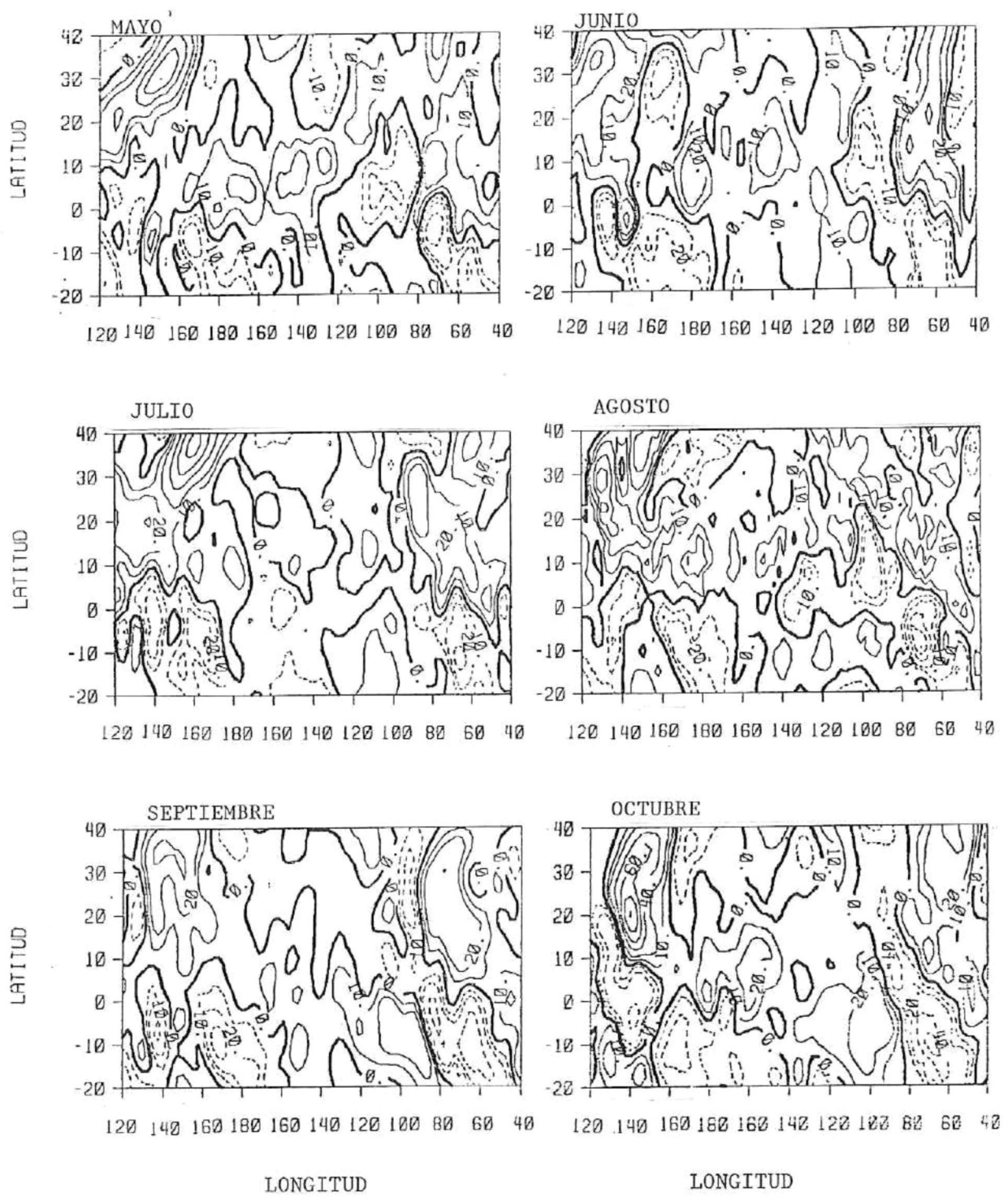


Fig. 32. - Lo mismo que la figura 20 solo que para el nivel III de 1979.

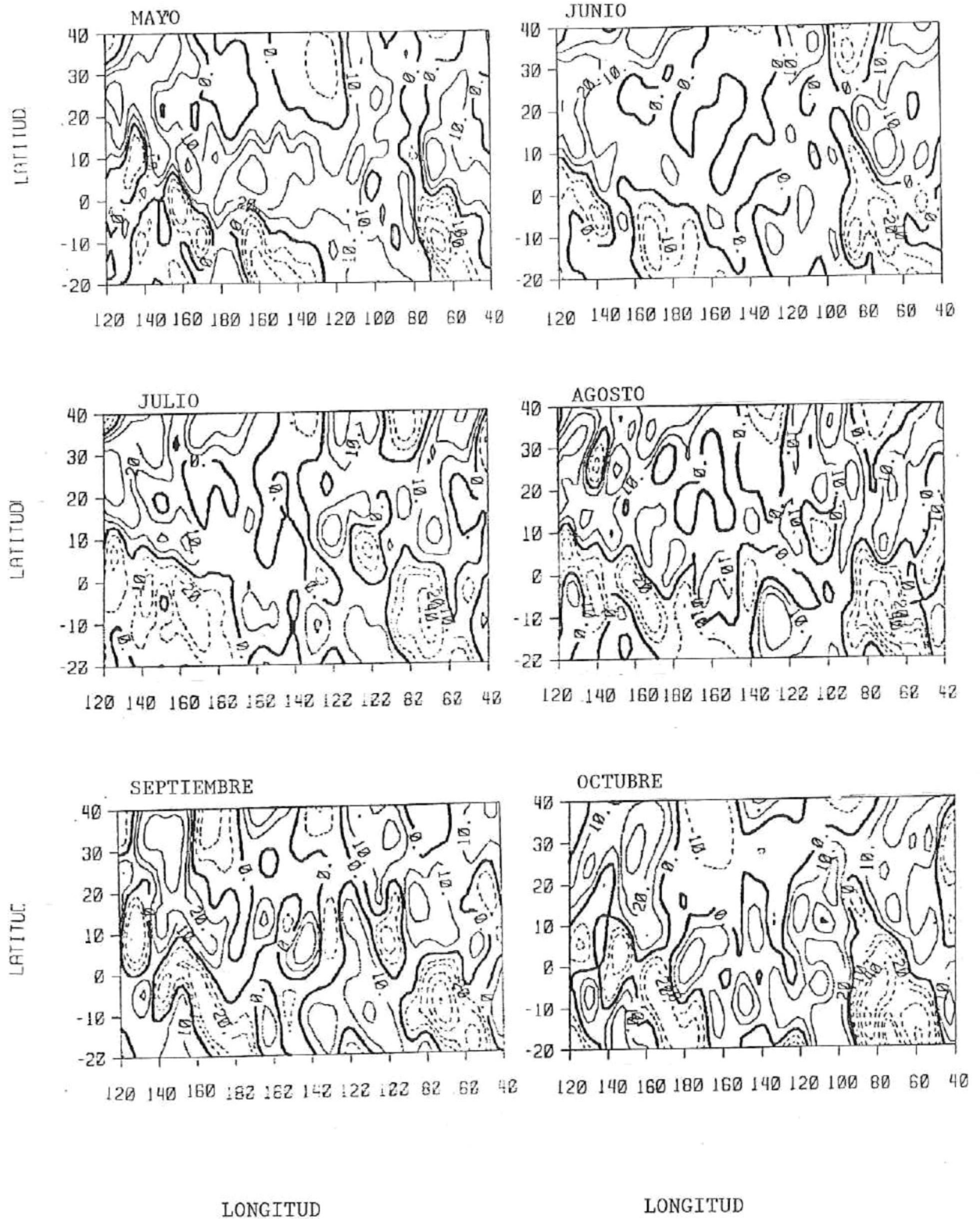


Fig. 33. - Lo mismo que la figura 20 solo que para el nivel III de 1980.

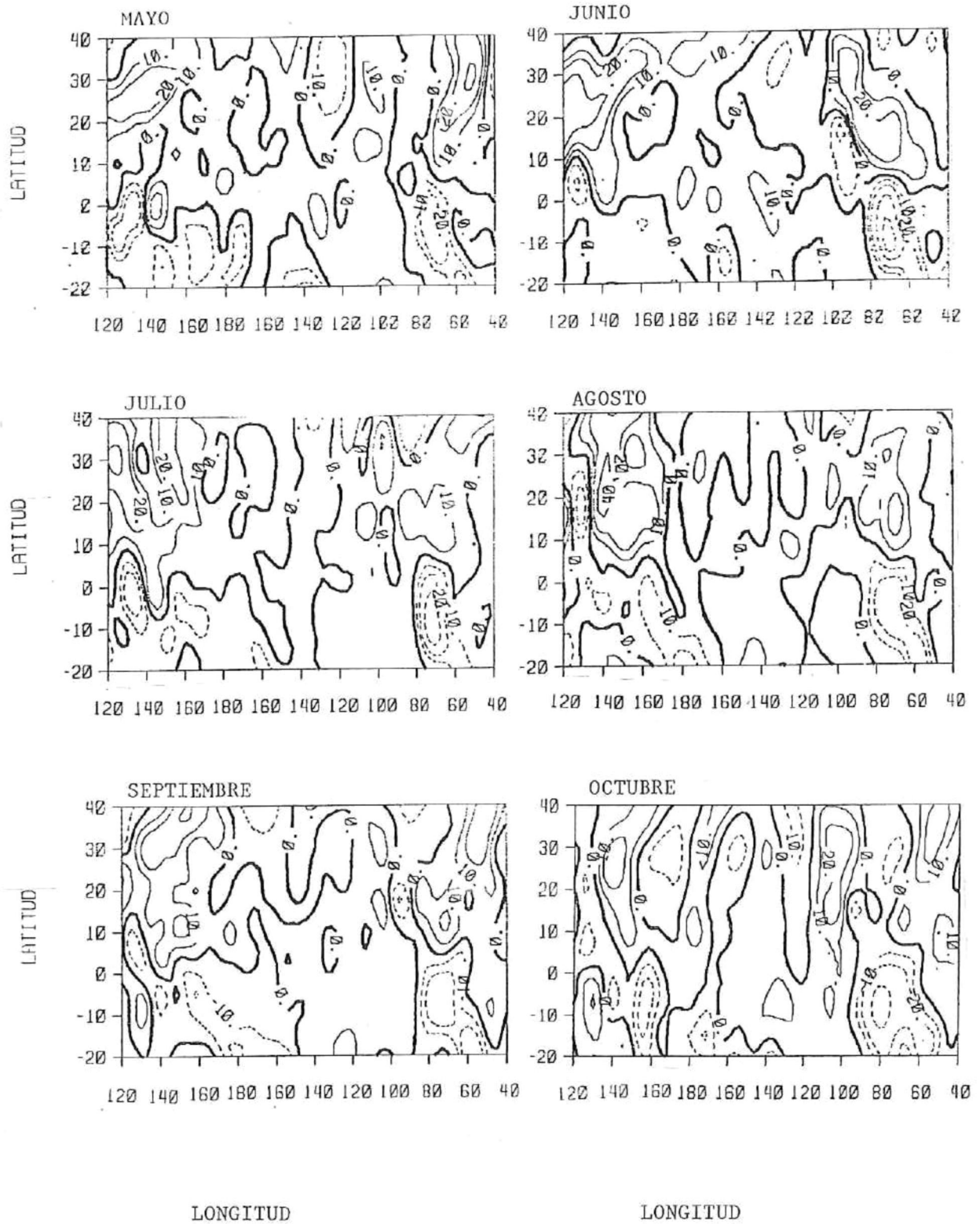


Fig. 34. - Lo mismo que la figura 20 solo que para el nivel III de 1981.

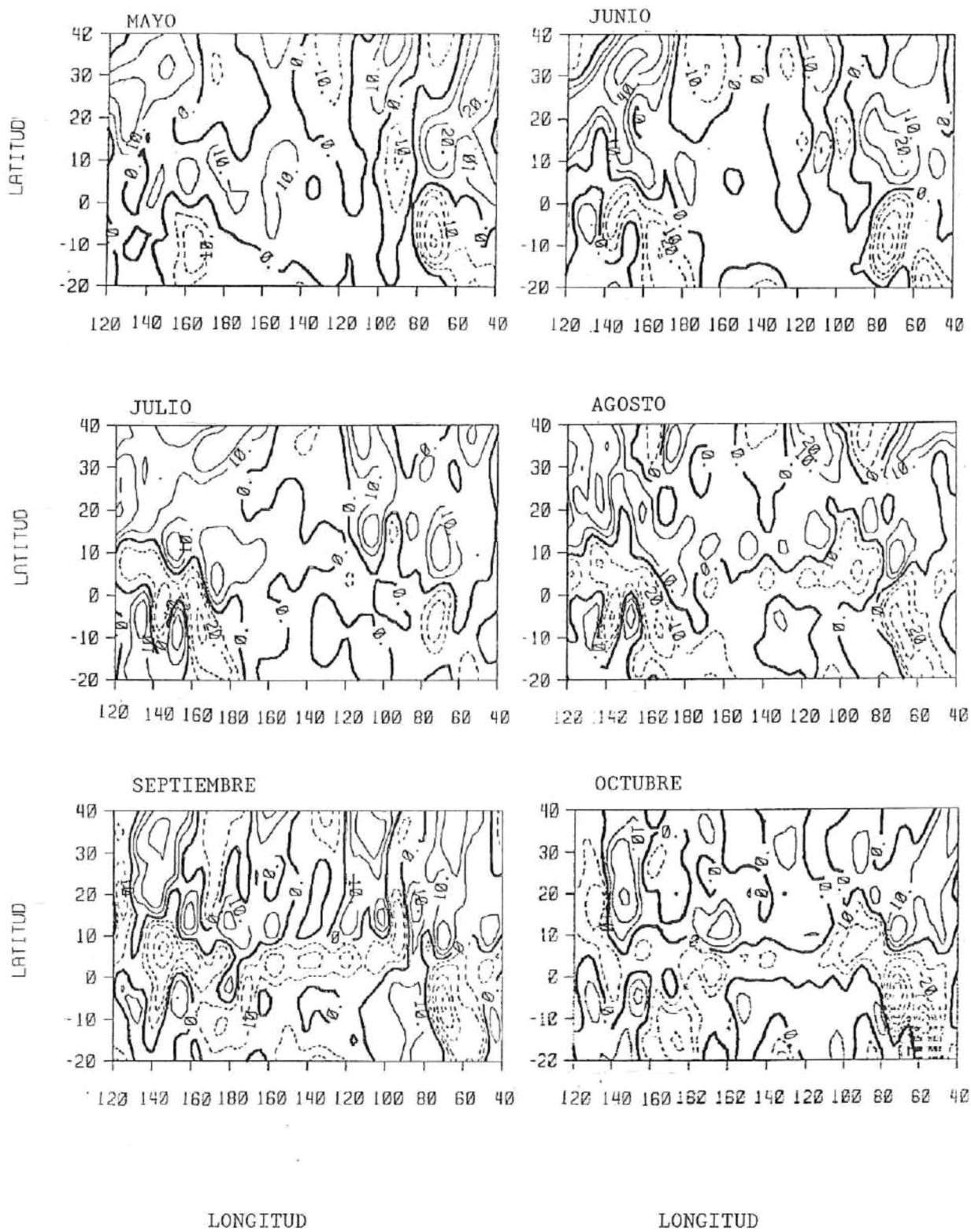


Fig. 35. - Lo mismo que la figura 20 solo que para el nivel III de 1982.

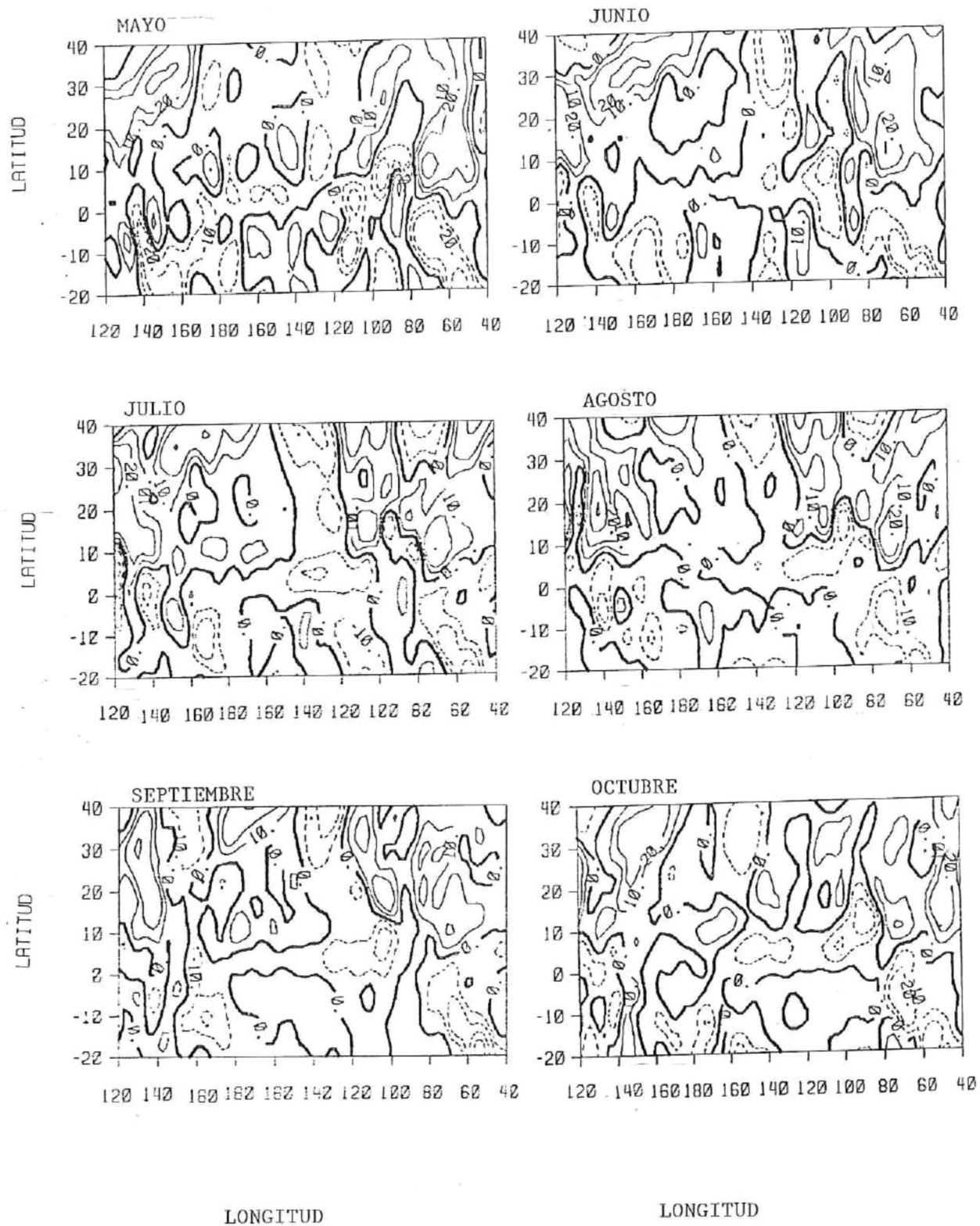


Fig. 36. - Lo mismo que la figura 20 solo que para el nivel III de 1983.

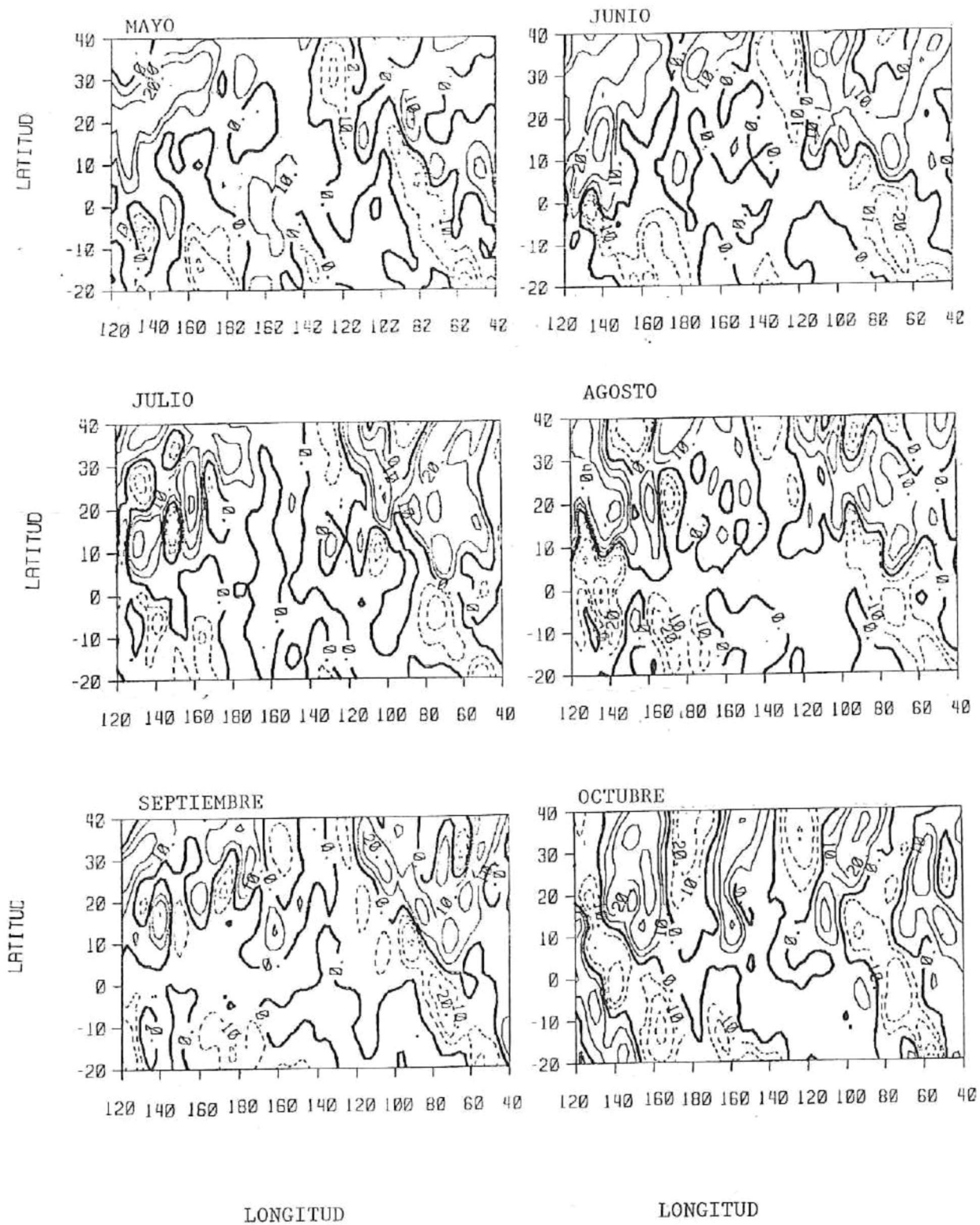


Fig. 37. - Lo mismo que la figura 20 solo que para el nivel III de 1984.

### 3.2.2 Diferencias entre Niveles

El flujo del sur localizado alrededor de los 100 y 110 grados W es mucho más notable y constante en el nivel I que en el nivel II, mientras que en el nivel III sólo se aprecia en 12 meses de los 36 analizados y con intensidades relativamente pequeñas. En los niveles I y II se observa que hay un dominio del flujo del norte sobre las áreas del Océano Pacífico Norte y gran parte de Sudamérica, mientras que en el nivel III los flujos del norte y del sur están dominando casi por igual el área estudiada. También en el nivel I y II el patrón de flujo del sur es más variable que el del norte y en el nivel III realmente no existe un patrón de flujo del sur ó del norte definidos, los dos flujos son muy heterogéneos. En cuanto a los máximos valores el nivel I tiene igual ó mayor a 100 Kg/m.s; el nivel II es menor ó igual a 50 Kg/m.s y el nivel III menor ó igual a 40 Kg/m.s, excepto en Septiembre y Octubre de 1982 donde llega hasta 50 Kg/m.s sobre Sudamérica.

### 3.3 Promedios Mensuales del Campo de Agua Precipitable

#### 3.3.1 Características Generales

##### a) Nivel I

En las figuras 38 a la 43 se muestran las series de mapas para el campo de AP de Mayo-Octubre para cada año en la capa de 1000 a 850 mb. Se observa que existen dos regiones de máxima concentración: una muy amplia de los 10 grados S a los 20 grados N que se encuentra sobre el (OPT) y otra más pequeña sobre Brasil en la zona del Amazonas y las Costas de Centro América, ambas regiones con valores del orden de 24 mm.

Conforme avanzan los años se aprecia que el área de máximos valores aumenta, así como las magnitudes también; es muy notable que en 1979 y 1981 las regiones con valores mayores a los 24 mm son más chicas en comparación con los demás años estudiados. Se observan grandes diferencias en cuanto a que las isolíneas son muy discontinuas en los primeros años antes de 1981 y después de 1982 están más suavizadas.

Encontramos valores de 28 mm específicamente sobre el área del Amazonas en Octubre de 1979 (Fig. 38), le sigue

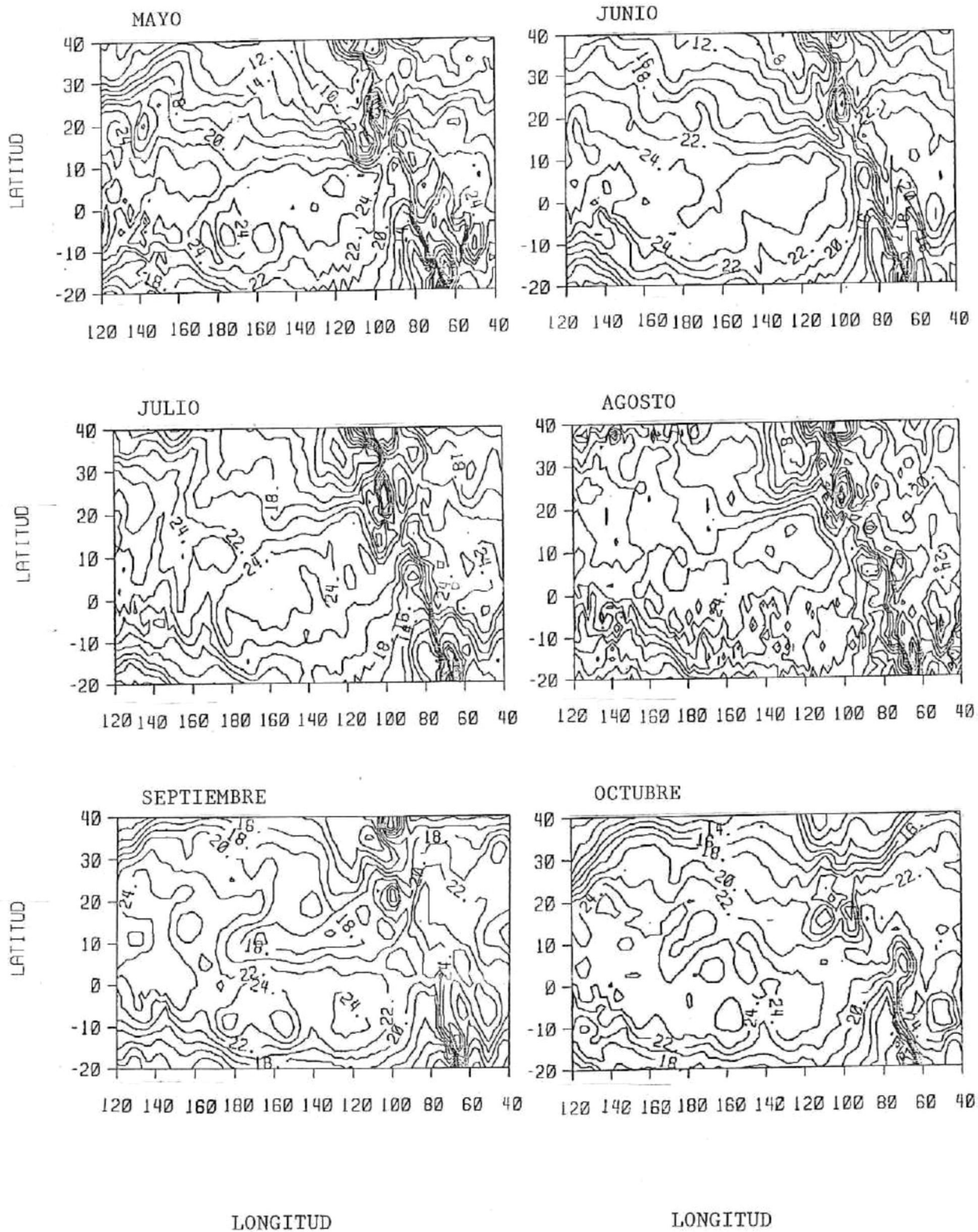


Fig. 38. - Promedios mensuales del campo de agua precipitable de Mayo a Octubre de 1979 del nivel I. Las unidades estan dadas en mm.

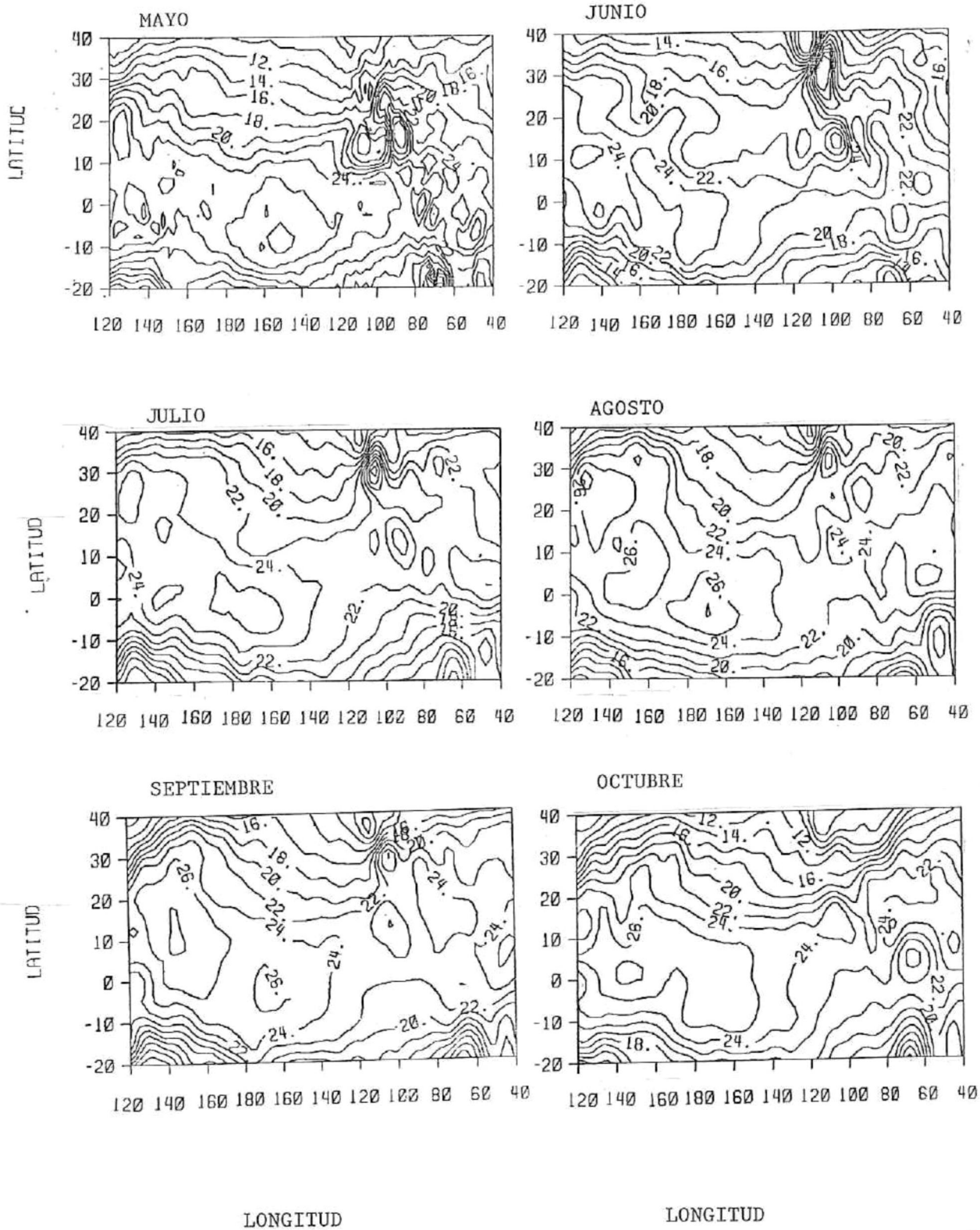


Fig. 39. - Lo mismo que la figura 38 solo que para 1980.

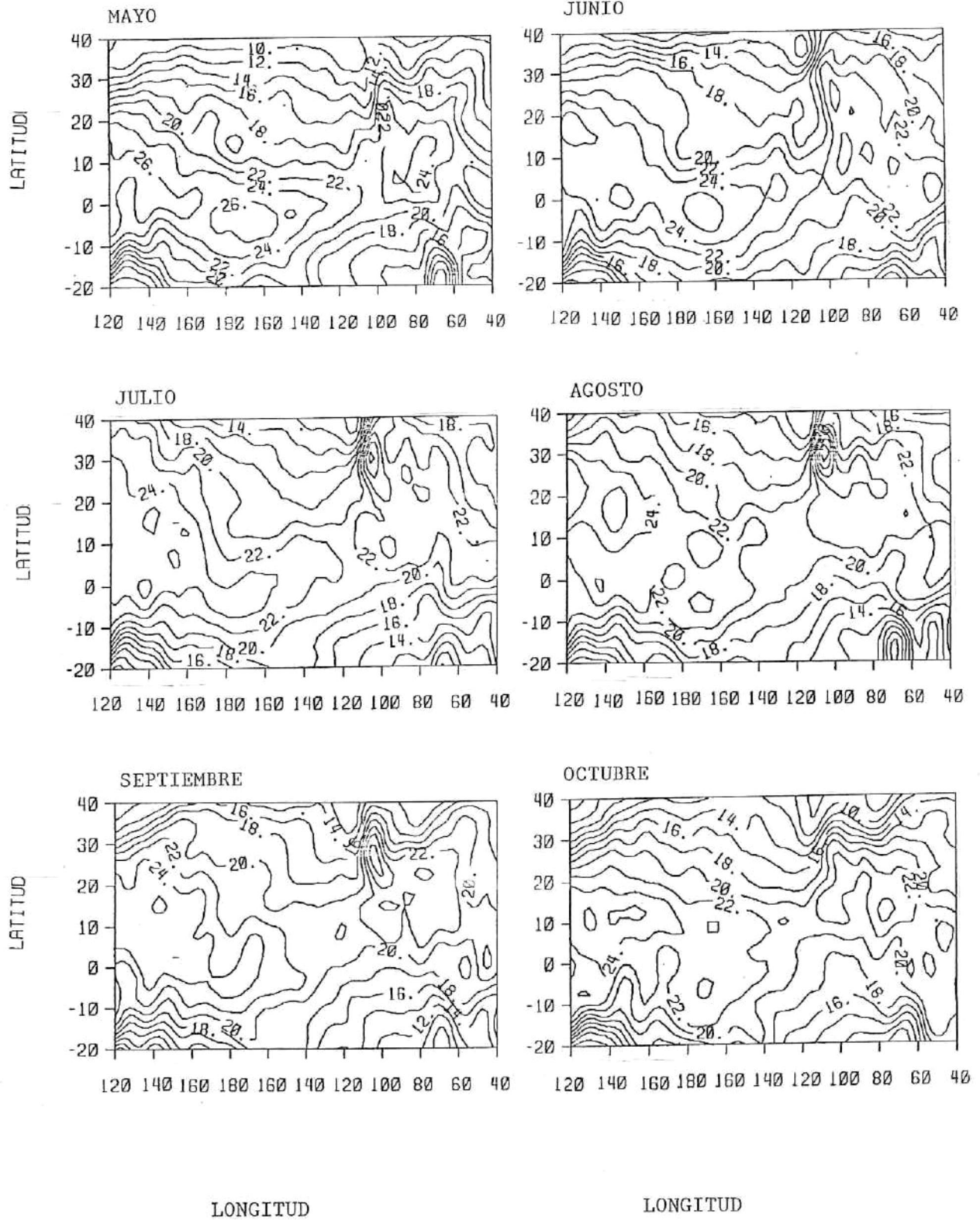


Fig. 40.- Lo mismo que la figura 38 solo que para 1981.

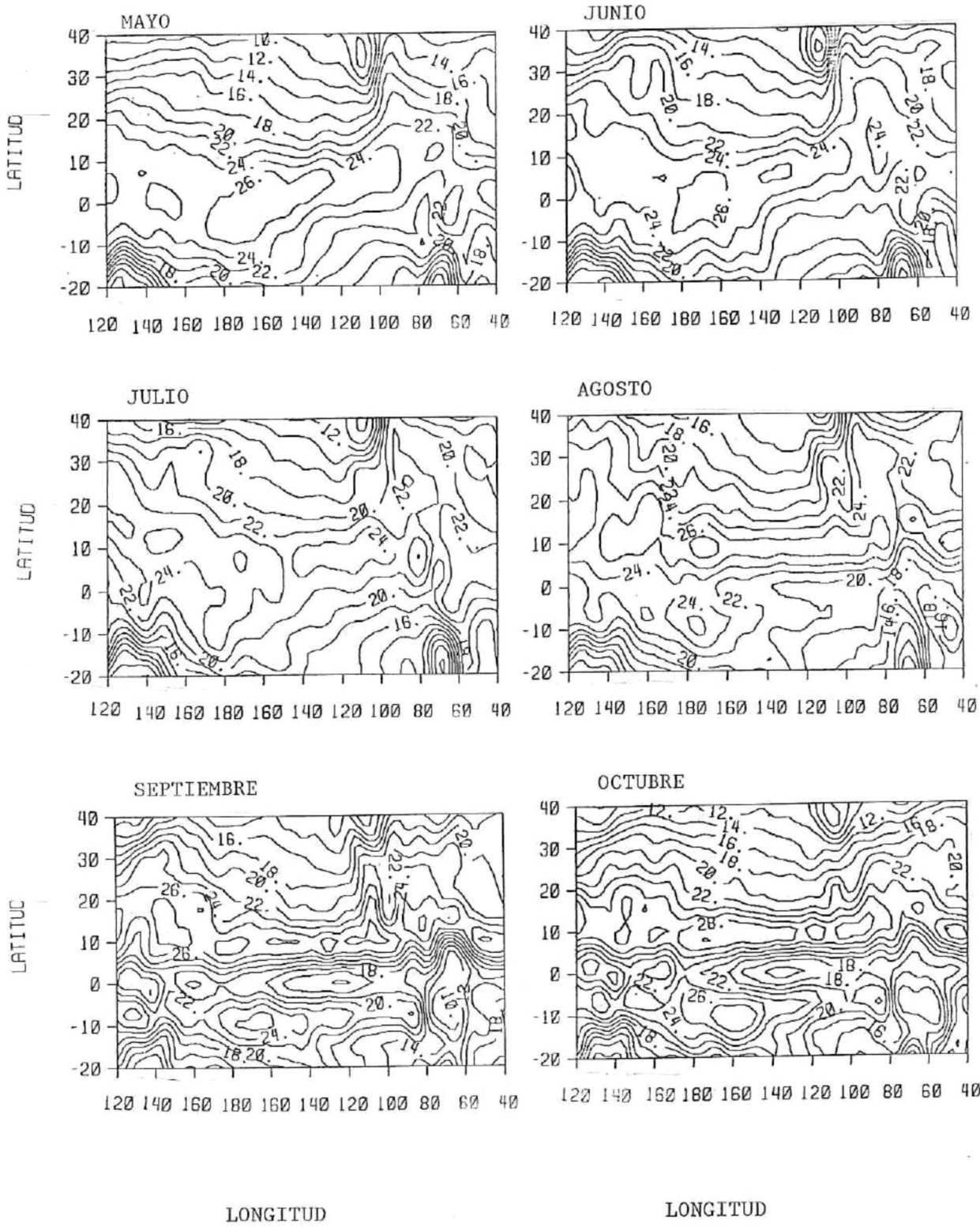


Fig. 41.- Lo mismo que la figura 38 solo que para 1982.

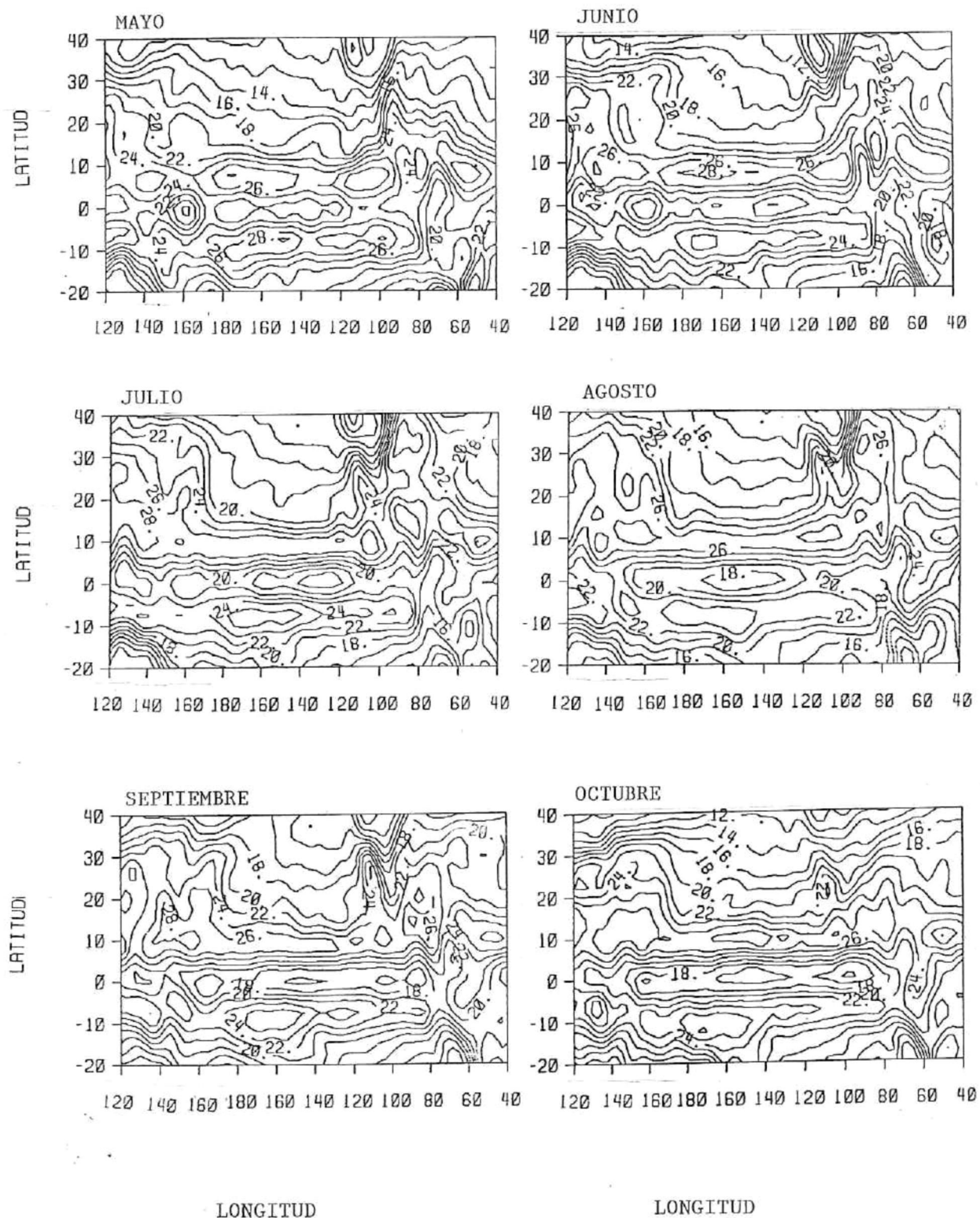


Fig. 42. - Lo mismo que la figura 38 solo que para 1983.

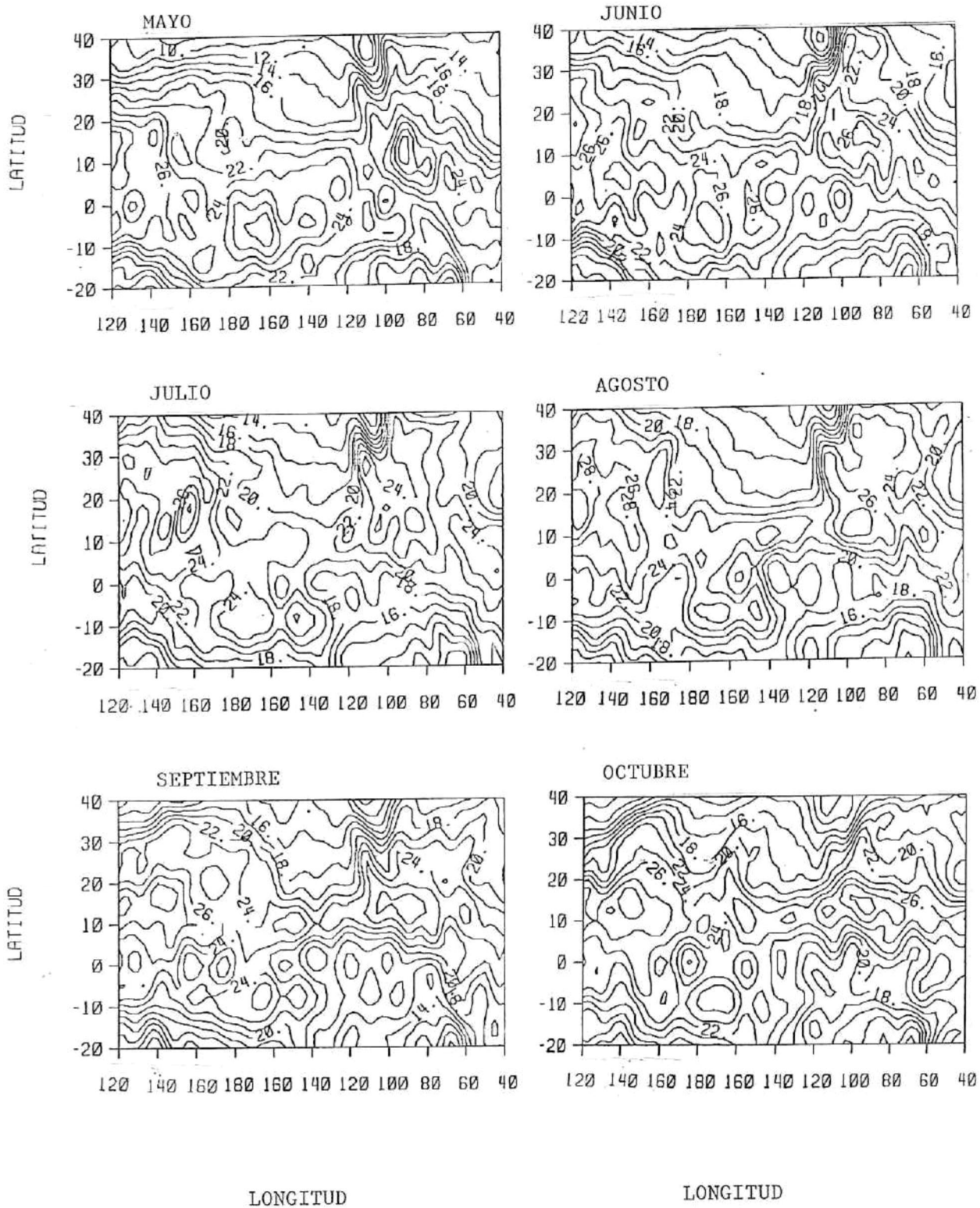


Fig. 43. - Lo mismo que la figura 38 solo que para 1984.

1981 que tiene valores de 28 y 30 mm sobre México en Julio y Agosto respectivamente (Fig. 40); aquí el área ocupada por las zonas de máxima AP es un poco mayor con respecto a 1979, después le sigue en tamaño a éstas áreas 1980 en donde encontramos valores de 28 mm de Agosto-October sobre el OPT en el ecuador (Fig. 39). En 1982 aumenta ésta área, casi ocupando en su totalidad entre los 10 grados S a 20 grados N y se puede observar que de 1982 a 1983 las isolíneas de máximos valores sobre el OPT y el continente se unen formando una franja en toda la longitud de los mapas. En 1982 se observa que casi todos los meses llegan a tener valores de 28 mm en varias regiones distribuidas a lo largo de toda la franja a la altura de los 10 grados N sobre el OPT y Centro América (Fig. 41). Esta franja se extiende un poco mas hasta los 15 grados S en donde se observan valores hasta de 30 mm, de Agosto-October se recorre otra vez hacia el norte hacia los 5 grados N. En 1983 se observa la franja con los máximos valores de AP dividida en dos partes de Mayo-Julio y en Septiembre (Fig. 42). Ya desde Agosto y Octubre de 1982 se notan dos pequeños centros con valores de 24 y 26 mm que más tarde están unidos formando la mitad de la franja. En éste año de 1983 vemos que altos valores de AP estan sobre parte de México, Las Antillas, Centroamérica y el norte de Brasil donde sólo en Septiembre disminuyen un poco. En 1984

encontramos que la franja de los valores más altos se deforma dando lugar a zonas muy irregulares en cuanto a forma, pero que aún siguen estando casi sobre las mismas regiones con valores de 20 ó 30 mm (Fig. 43). Nótese que al ir avanzando hacia el oeste, las isolíneas tienden a abrirse hacia el norte y hacia el sur. También es interesante notar que conforme avanza el verano hay desplazamiento hacia el norte de los máximos valores de AP.

El año de 1984, este nivel está caracterizado por la gran extensión que ocupan las zonas de máxima AP y por presentar el máximo desplazamiento meridional de las isolíneas de AP. Es muy notable que en el mes de Mayo aparece otra franja de máximos valores al sur de la ya existente y se une a ella por medio de isolíneas de valores similares (Fig. 43).

#### b) Nivel II

En las figuras 44 a la 49 se muestran las series de mapas para el campo de AP de Mayo a Octubre para cada año del nivel II. Se observa una franja de máxima concentración que va de los 10 grados S a los 20 grados N aproximadamente. En éste nivel la franja de máximos valores está representada por las isolíneas de los 14 mm a

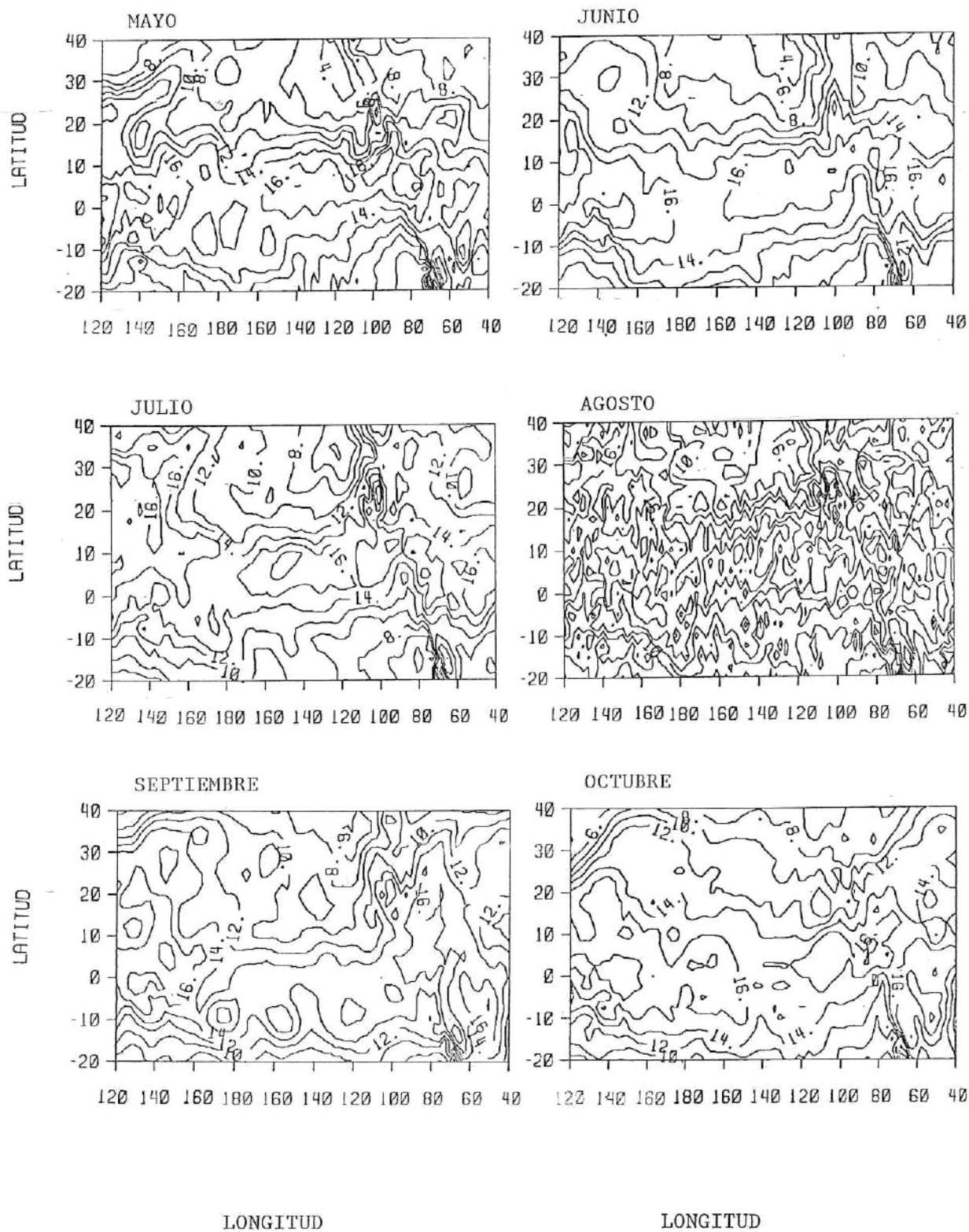


Fig. 44. - Lo mismo que la figura 38 solo que para el nivel II de 1979.

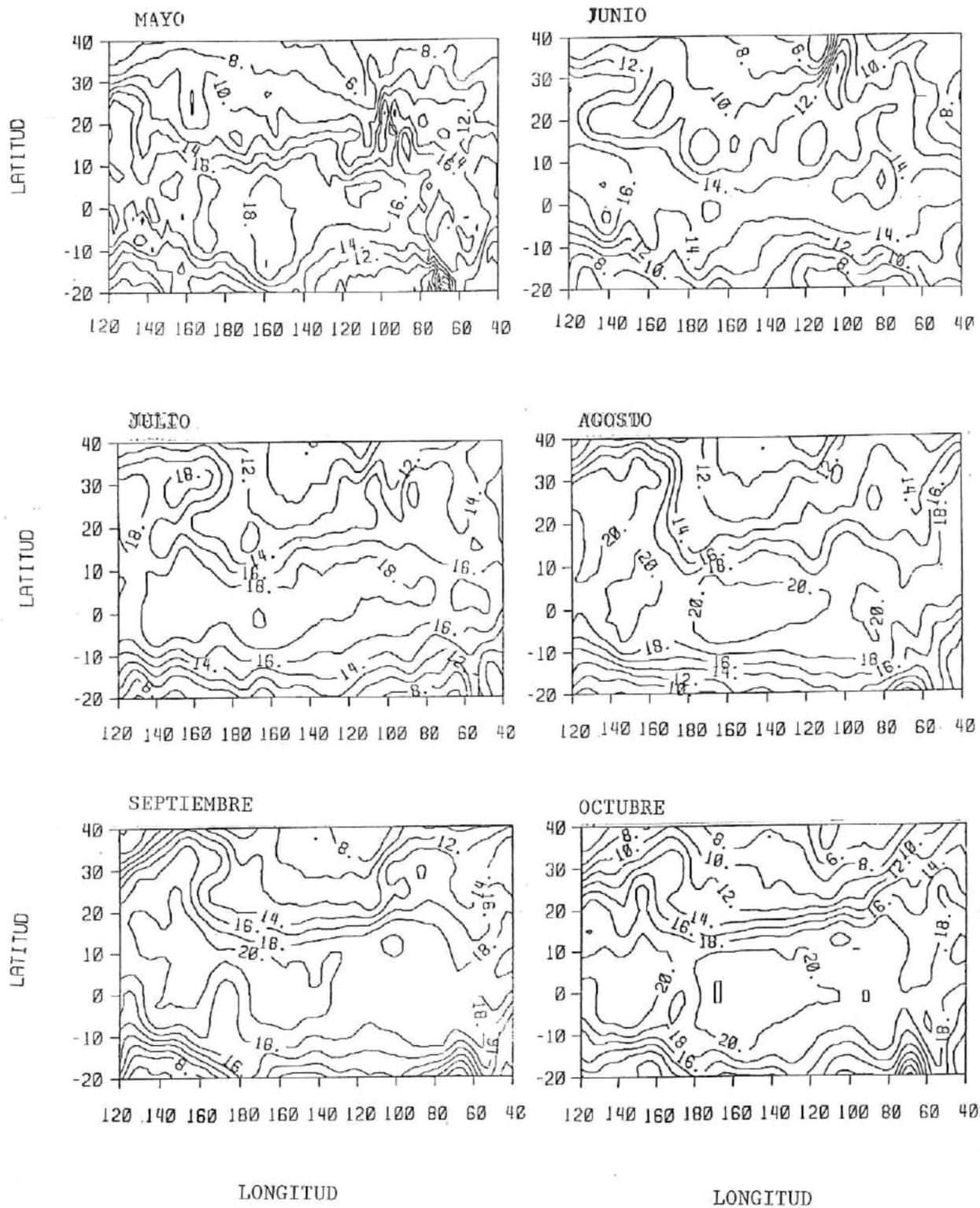


Fig. 45. - Lo mismo que la figura 38 solo que para el nivel II de 1980.

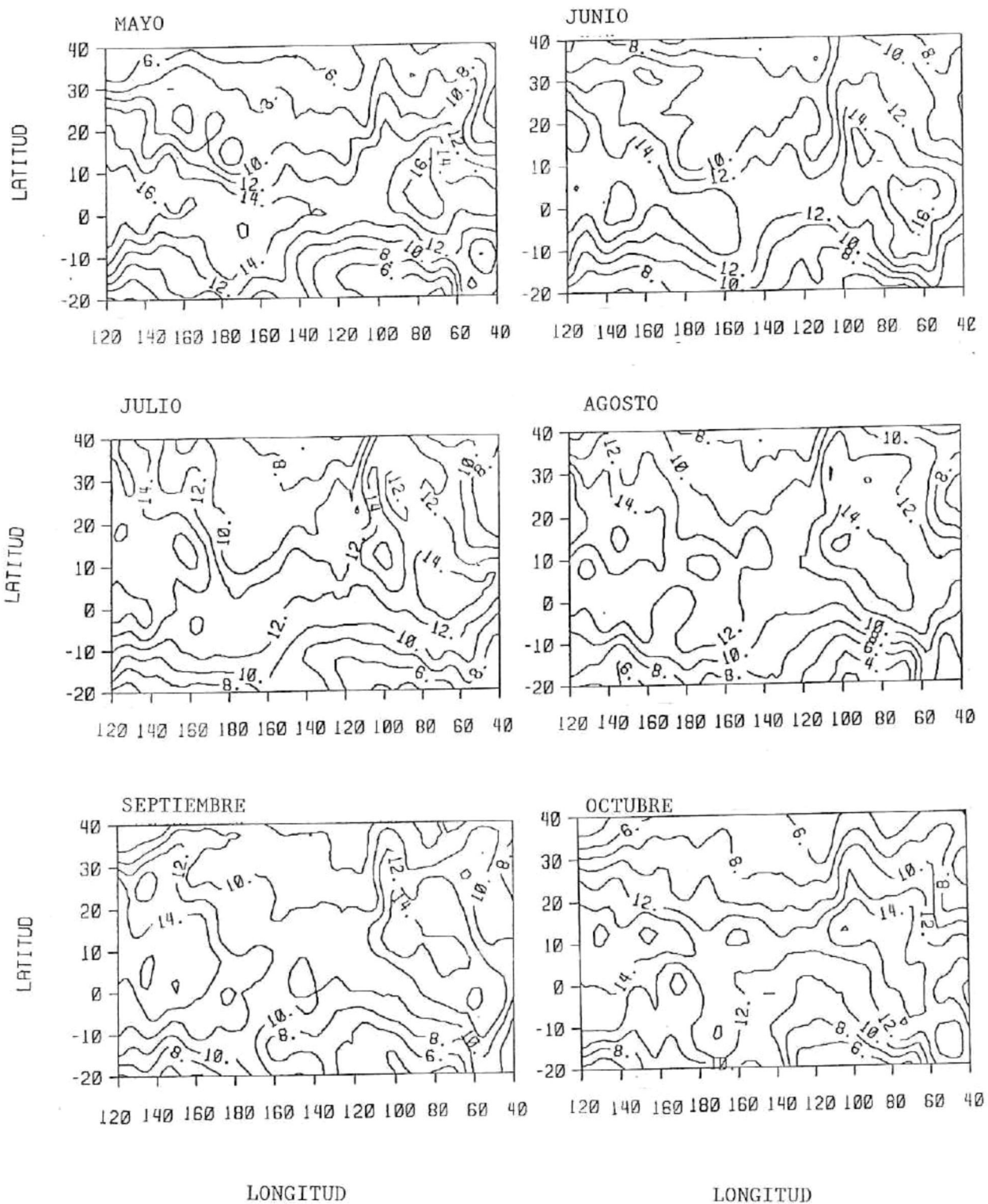


Fig. 46. — Lo mismo que la figura 38 solo que para el nivel II de 1981.

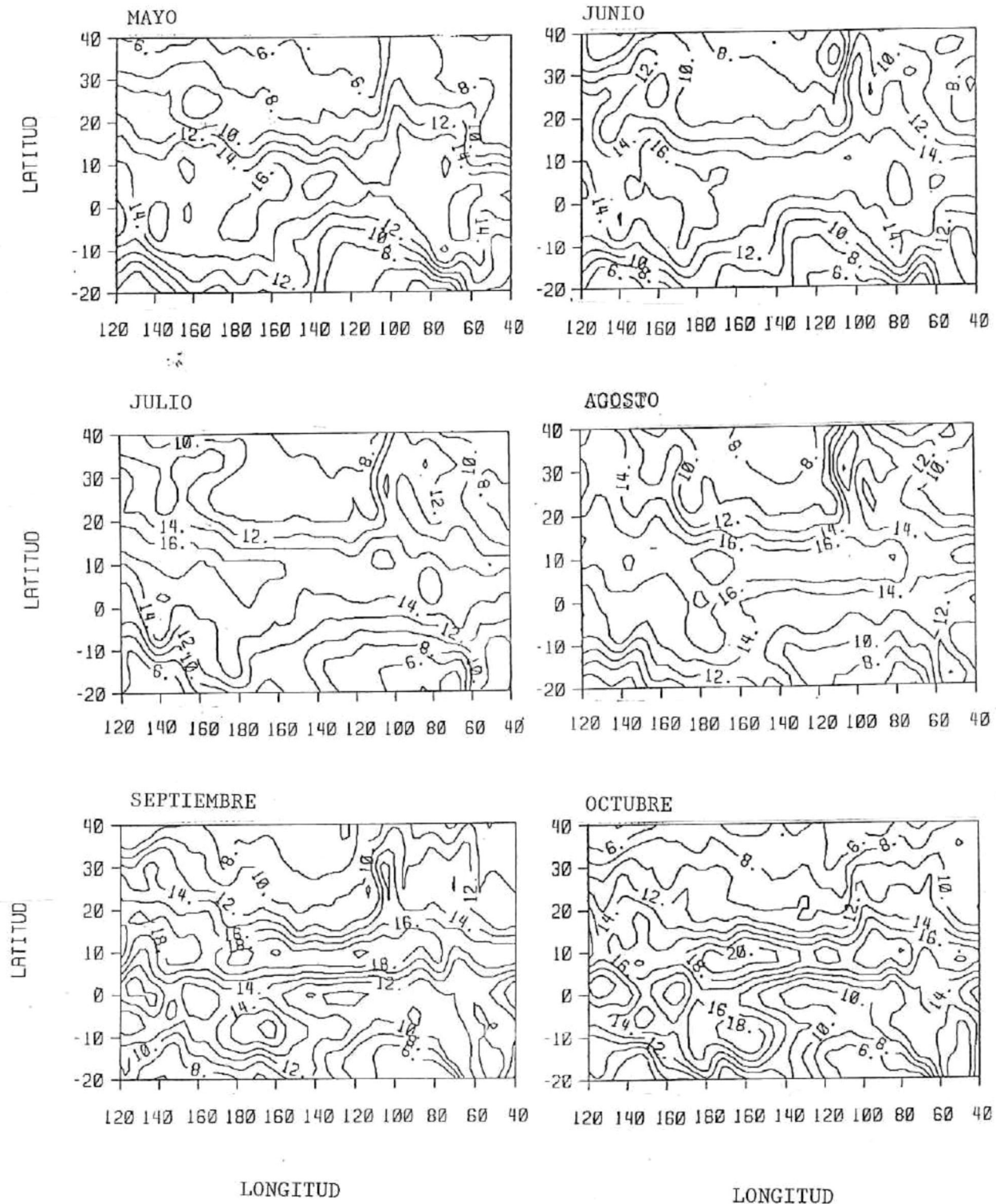


Fig. 47.- Lo mismo que la figura 38 solo que para el nivel II de 1982.

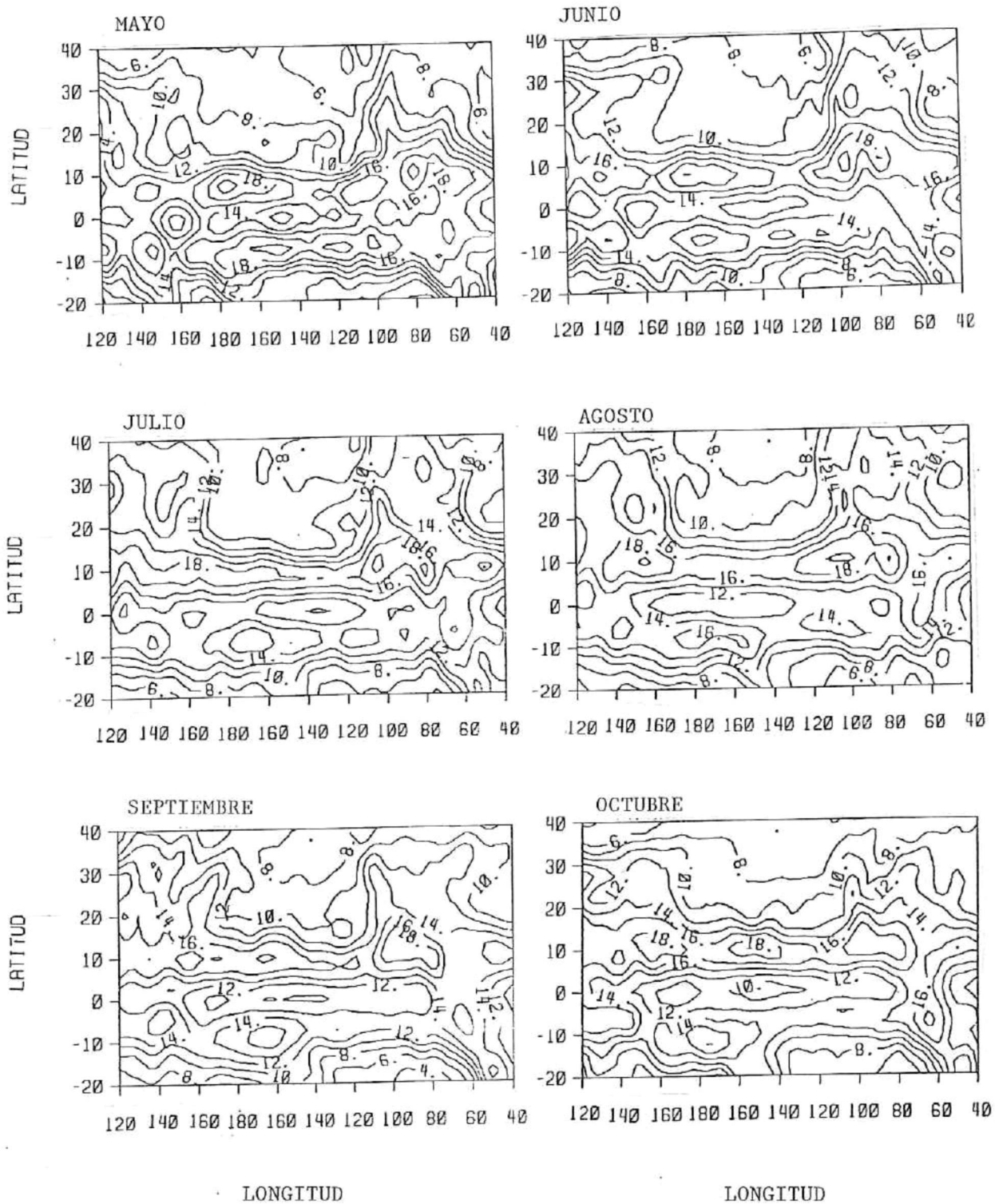


Fig. 48. - Lo mismo que la figura 38 solo que para el nivel II de 1983.

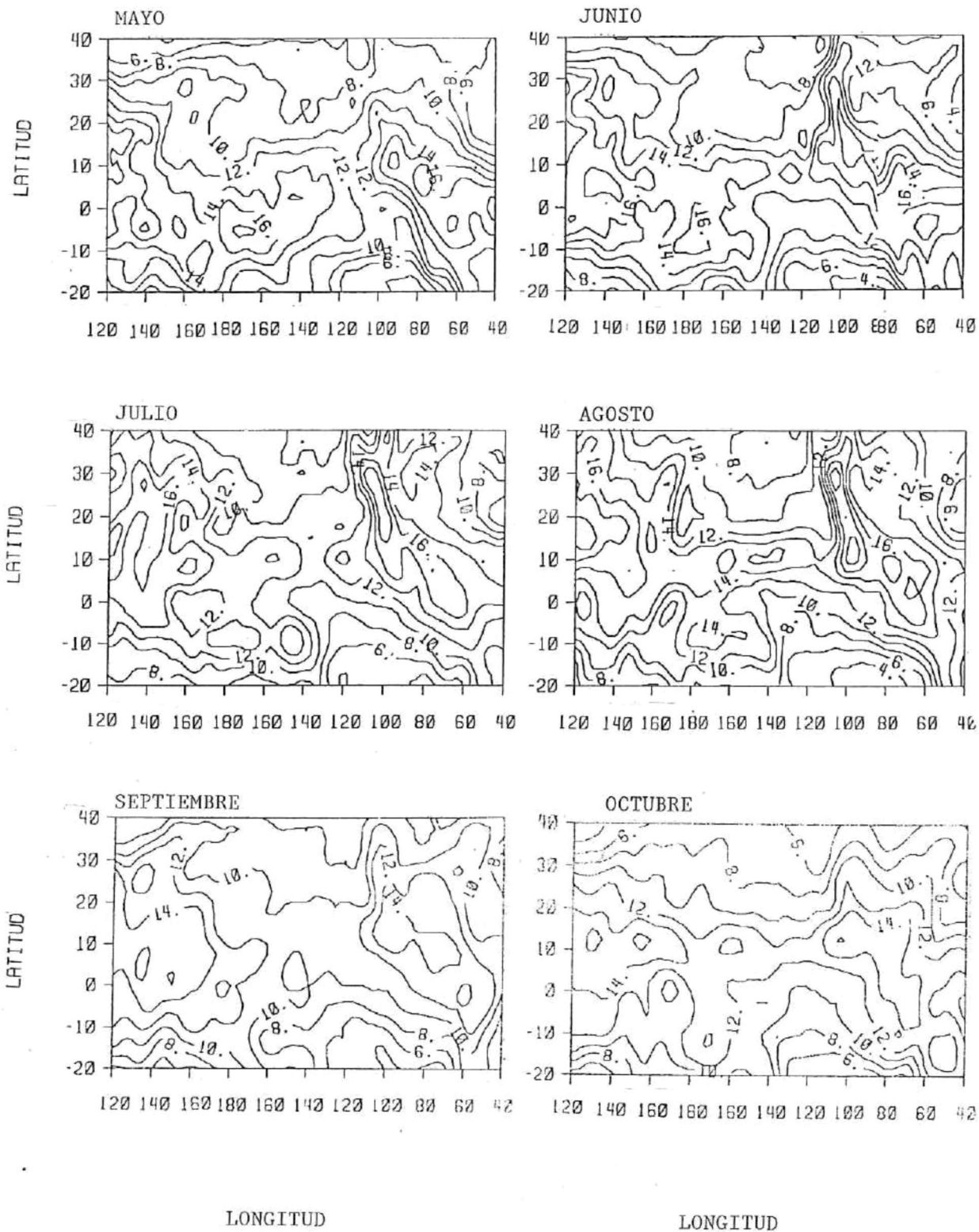


Fig. 49. - Lo mismo que la figura 38 solo que para el nivel II de 1984.

los 20 mm. Es muy notable que las áreas más grandes, donde hay máximos de 20 mm, se presentan en 1980 y están localizadas sobre el OPT (Fig. 45). Encontramos también algunos centros pequeños de 20 mm en Septiembre de 1982, Mayo de 1983 y Agosto de 1984.

En general el patrón de AP en éste nivel tiene contornos algo irregulares, pero que más ó menos sigue la misma forma en todos los años estudiados, a excepción de 1981 donde ésta franja se corta y sólo quedan dos zonas de máximos valores: una en Mayo de los 140 grados W a los 120 grados E, en Junio de los 160 grados W a 120 grados E y en los otros meses de los 170 grados E a 120 grados E y la otra zona está más ó menos de los 100 a los 60 grados W en todos los meses (Fig. 46).

### c) Nivel III

En la figura 50 a la 55 se muestran las series de mapas para el campo de AP de Mayo a Octubre para cada año del nivel III, donde se observa un patrón en forma de franja horizontal con contornos irregulares, aproximadamente de los 10 grados S a los 20 grados N que va desde 14 mm en sus contornos exteriores hasta los 20 mm, éstos últimos valores los encontramos específicamente en Julio de 1980 como un

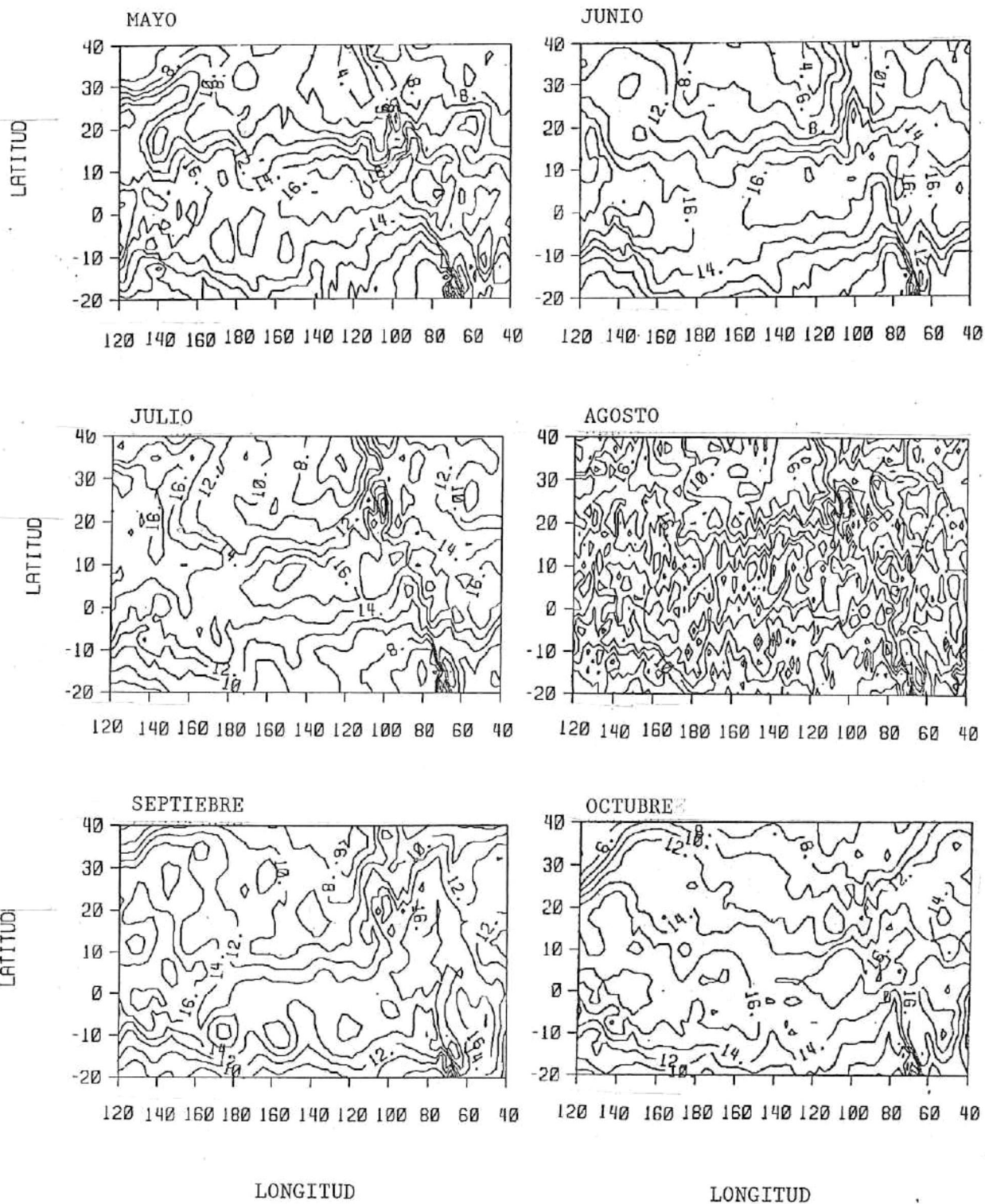


Fig. 50.- Lo mismo que la figura 38 solo que para el nivel III de 1979.

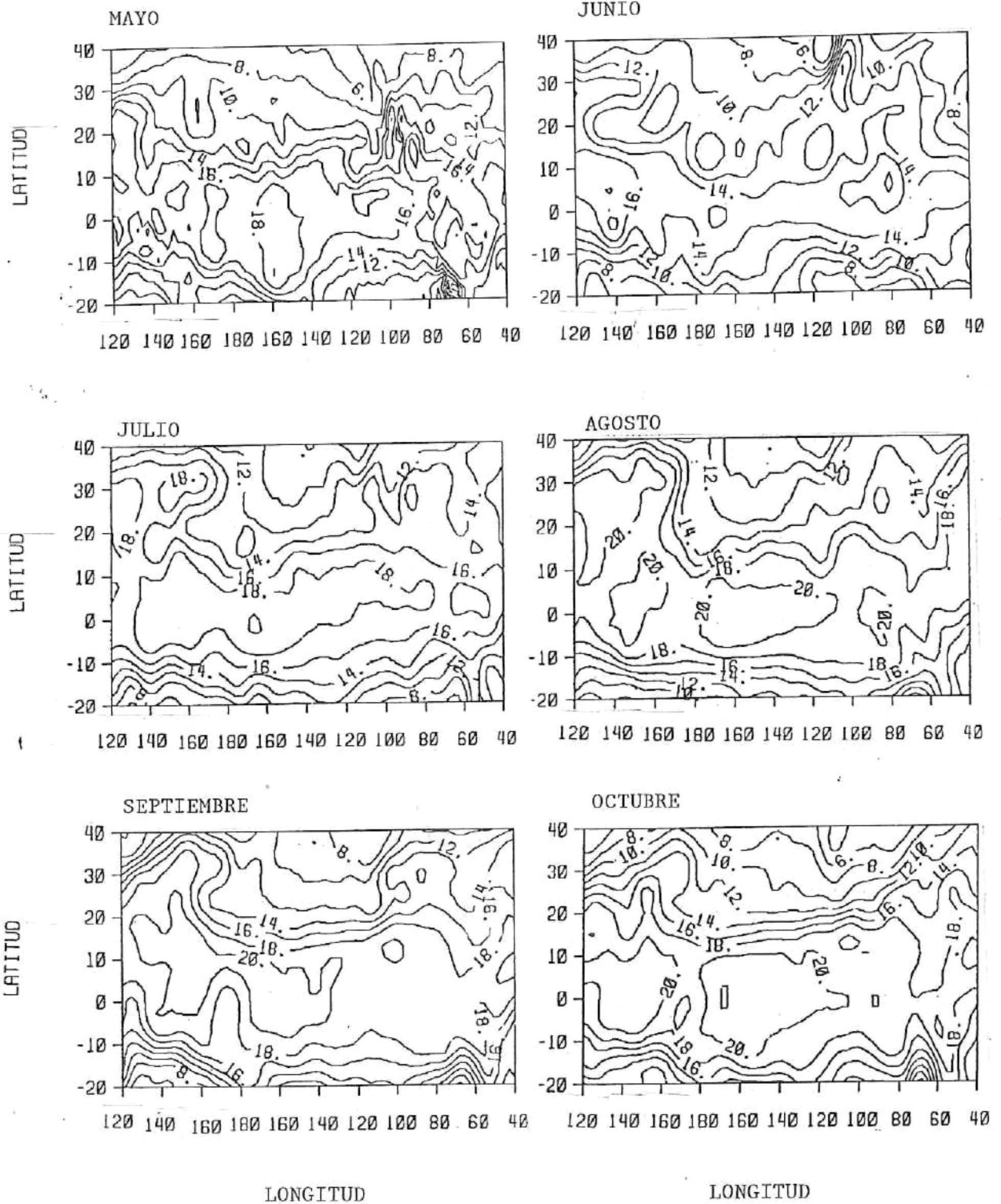


Fig. 51.- Lo mismo que la figura 38 solo que para el nivel III de 1980.

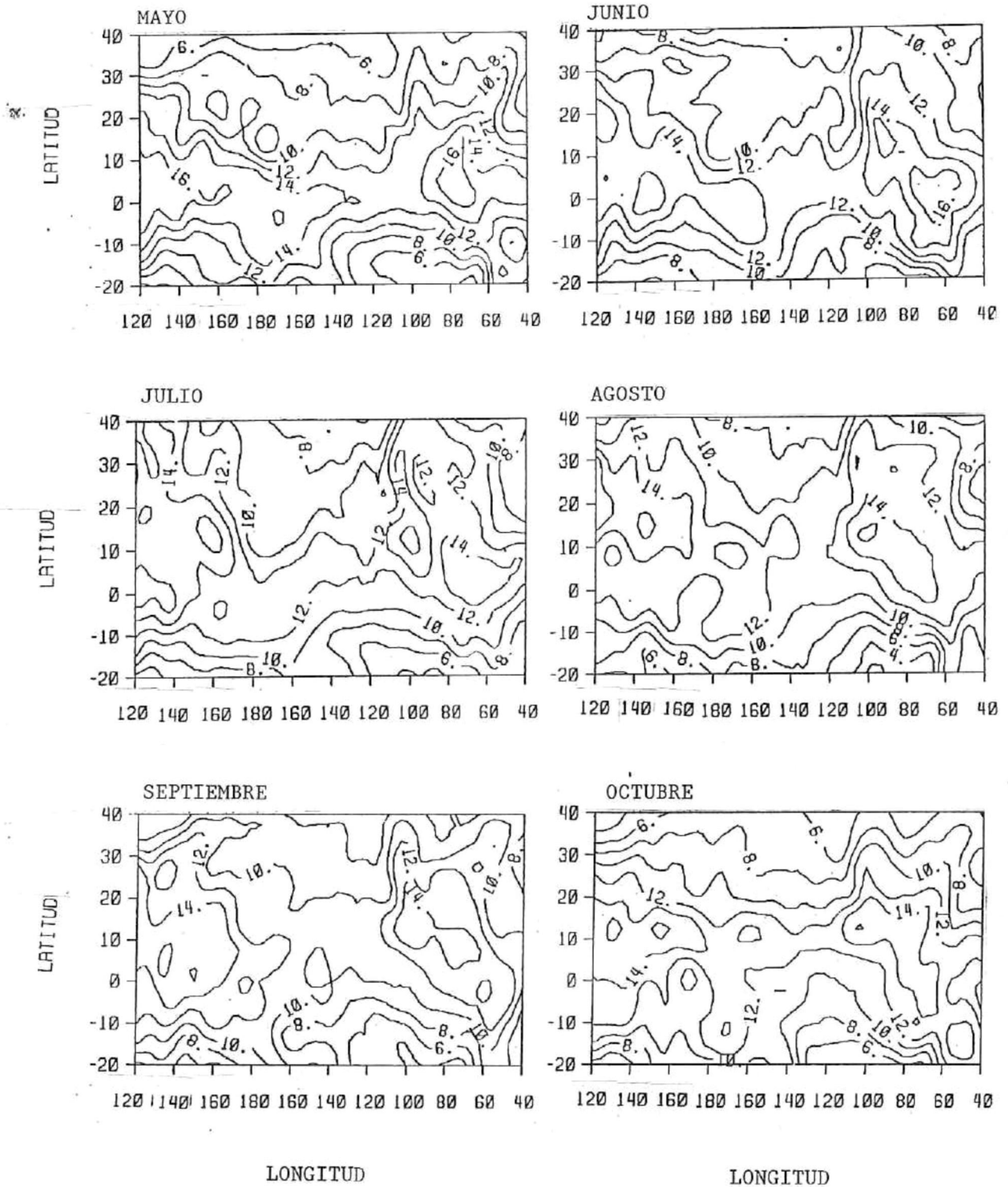


Fig. 52. - Lo mismo que la figura 38 solo que para el nivel III de 1981.

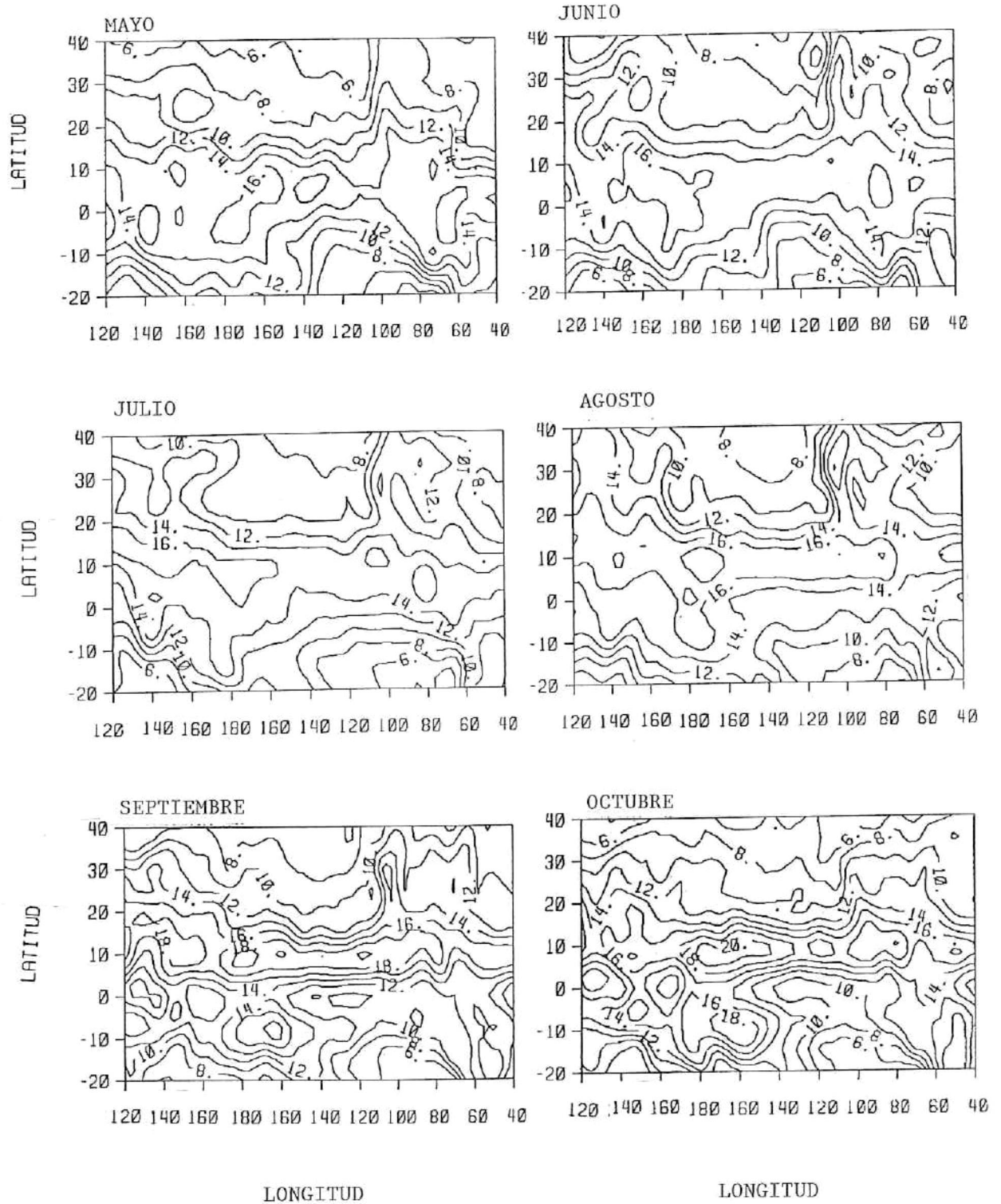


Fig. 53.- Lo mismo que la figura 38 solo que para el nivel III de 1992.

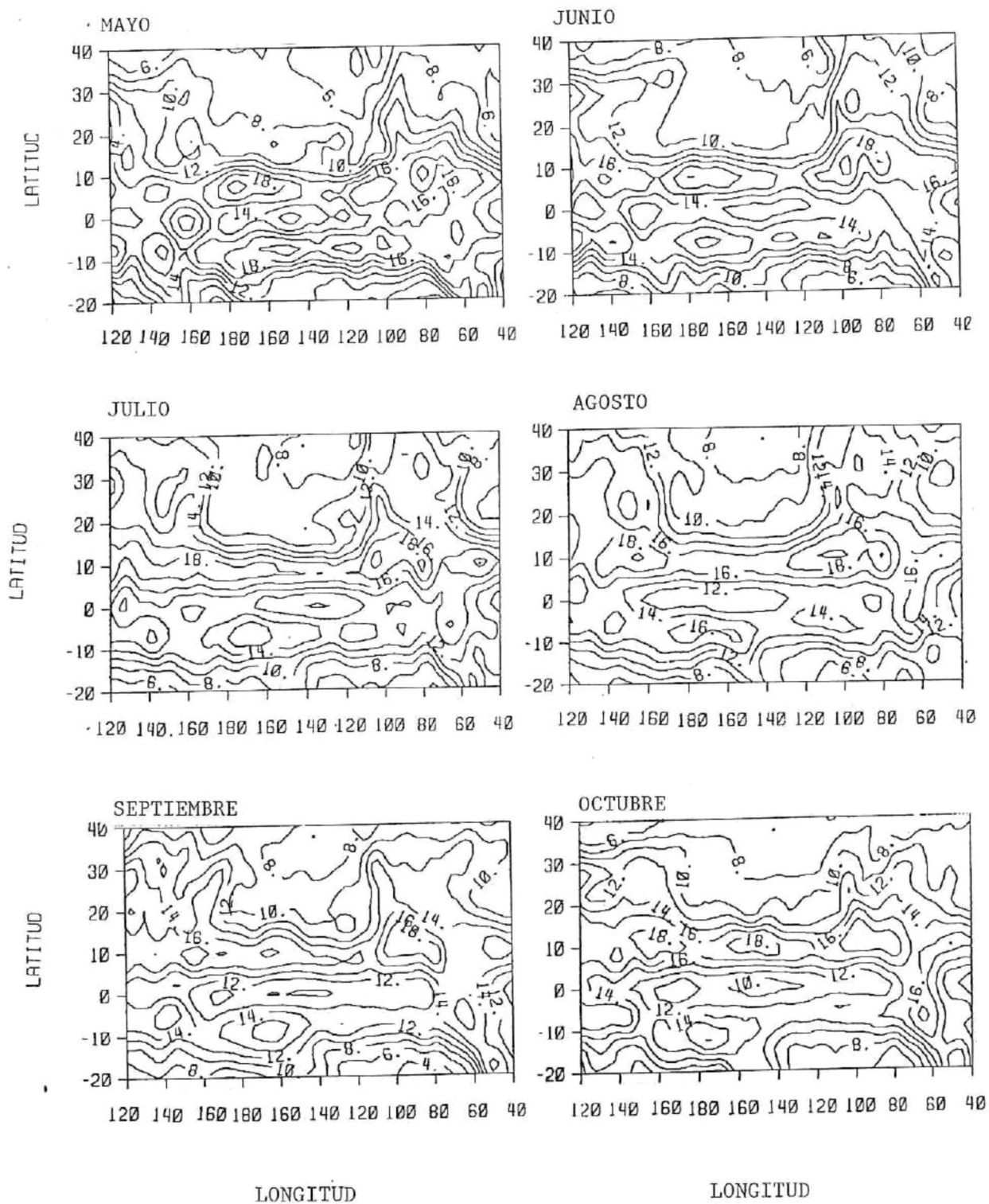


Fig. 54. - Lo mismo que la figura 38 solo que para el nivel III de 1983.

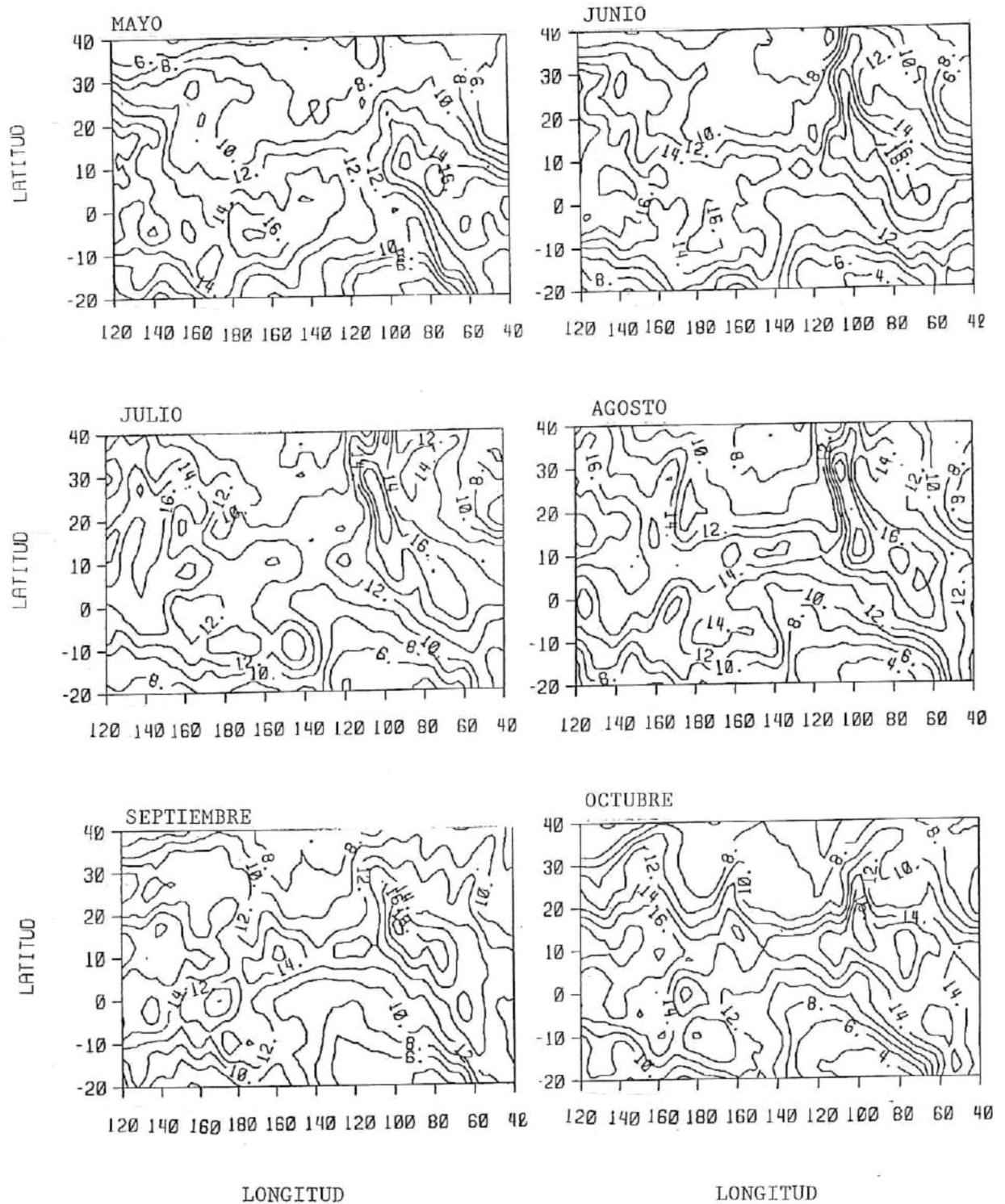


Fig. 55. -- Lo mismo que la figura 38 solo que para el nivel III de 1984.

pequeño centro en 160 grados W a lo largo de la franja que va de Agosto a Octubre del mismo año y en Mayo de 1983 sólo como pequeños centros, todos sobre el OPT. En 1984 encontramos valores de 20 mm en Agosto entre 100 y 110 grados W y 10 y 30 grados N y un pequeño centro en Septiembre a los 100 grados W y 20 grados N.

### 3.3.2 Diferencias entre Niveles

En realidad no existen diferencias muy notables en el patrón del campo de AP, éste es muy parecido en los tres niveles en donde se aprecia que en el año de 1983 hay valores altos de AP en gran parte de OPT, siendo el nivel 1 el que alcanzó los valores más altos (26 y 30 mm). Durante el año de 1981 se observaron los valores más pequeños en todos los niveles.

En cuanto al contenido de AP sobre los continentes, éste está representando dos gradientes simétricos que se observan sobre las regiones montañosas del hemisferio norte (HN) y del hemisferio sur (HS), donde se encuentran los valores más bajos y éste es muy parecido para los tres niveles aunque en el primero está muy claro y definido.

### 3.4 Secciones Transversales de latitud/tiempo del Flujo de Vapor de Agua

Para evidenciar las características interanuales de la circulación monzónica, se presentan secciones transversales de latitud/tiempo del flujo de vapor de agua verticalmente integrado, y del campo integrado longitudinalmente de agua precipitable en el intervalo de 100 a los 110 grados W.

#### 3.4.1 Flujo Zonal

De la figura 56 a la 58 se muestran las secciones transversales del flujo zonal verticalmente integrado de los 100 a los 110 grados W de Octubre de 1978 a Marzo de 1985 para cada nivel. En ellas se aprecia que en general, la región ecuatorial sur (de 20 grados S a 0 grados) está caracterizada por flujo del este, excepto en el nivel III, en el cual se observa flujo del oeste de los 20 grados S a los 10 grados S durante casi todo el período. Entre 0 y 10 grados N domina el flujo del este excepto que algunas lenguetas de flujo del oeste penetran un poco a esta zona por el norte en el nivel I, así como también se observa un centro de flujo del oeste en los dos primeros trimestres de 1983. Por otro lado, la región entre 10 y 30 grados N presenta patrones oscilatorios de flujo del oeste y del

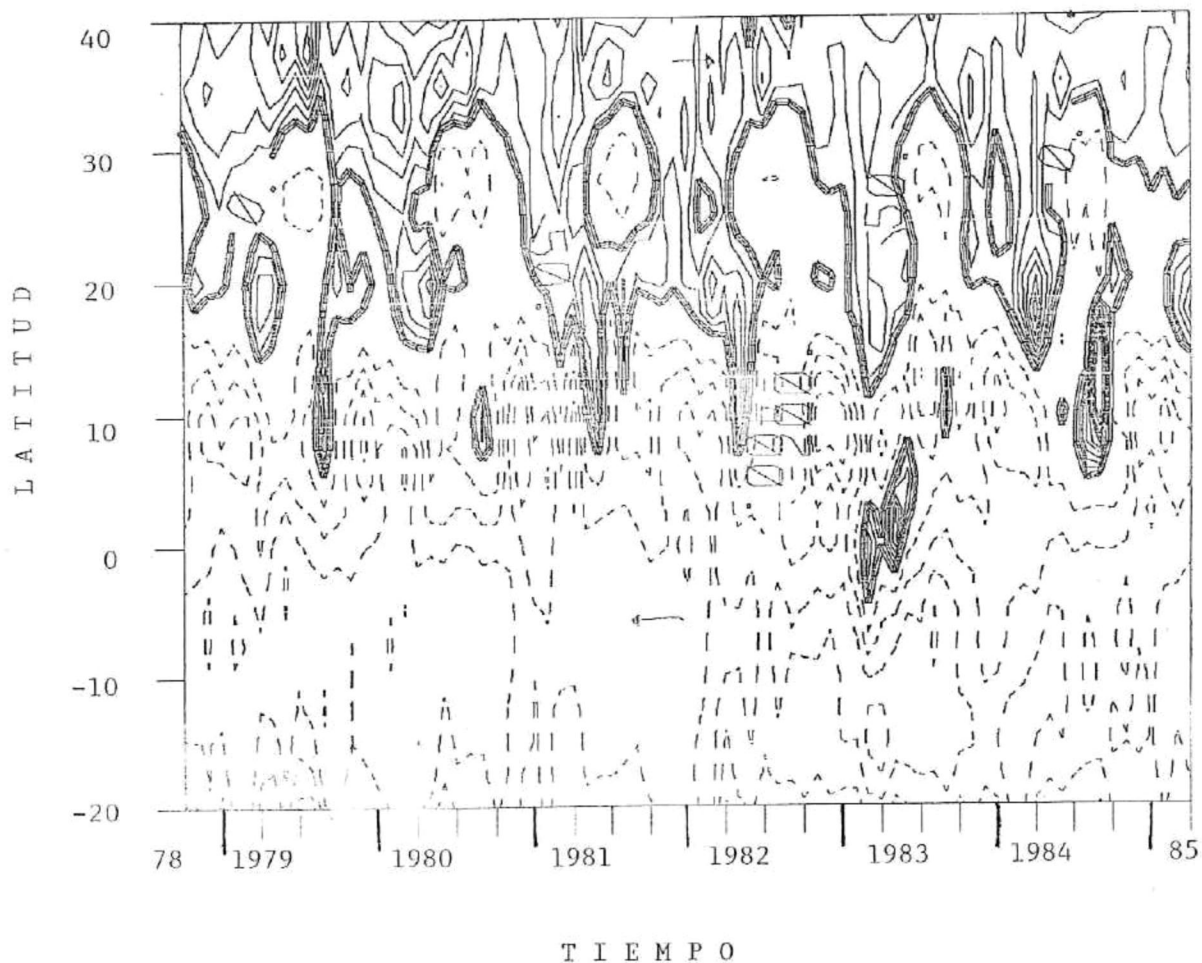


Fig. 56. - Secciones transversales latitud/tiempo entre 100 y 110 grados W del flujo zonal de vapor de agua del nivel 1, de Octubre de 1978 a Marzo de 1985. Las isolíneas punteadas indican flujo del este, las continuas flujo del oeste y la isolínea más gruesa denota flujo cero. Las unidades están en  $\text{Kg/m}\cdot\text{s}$ .

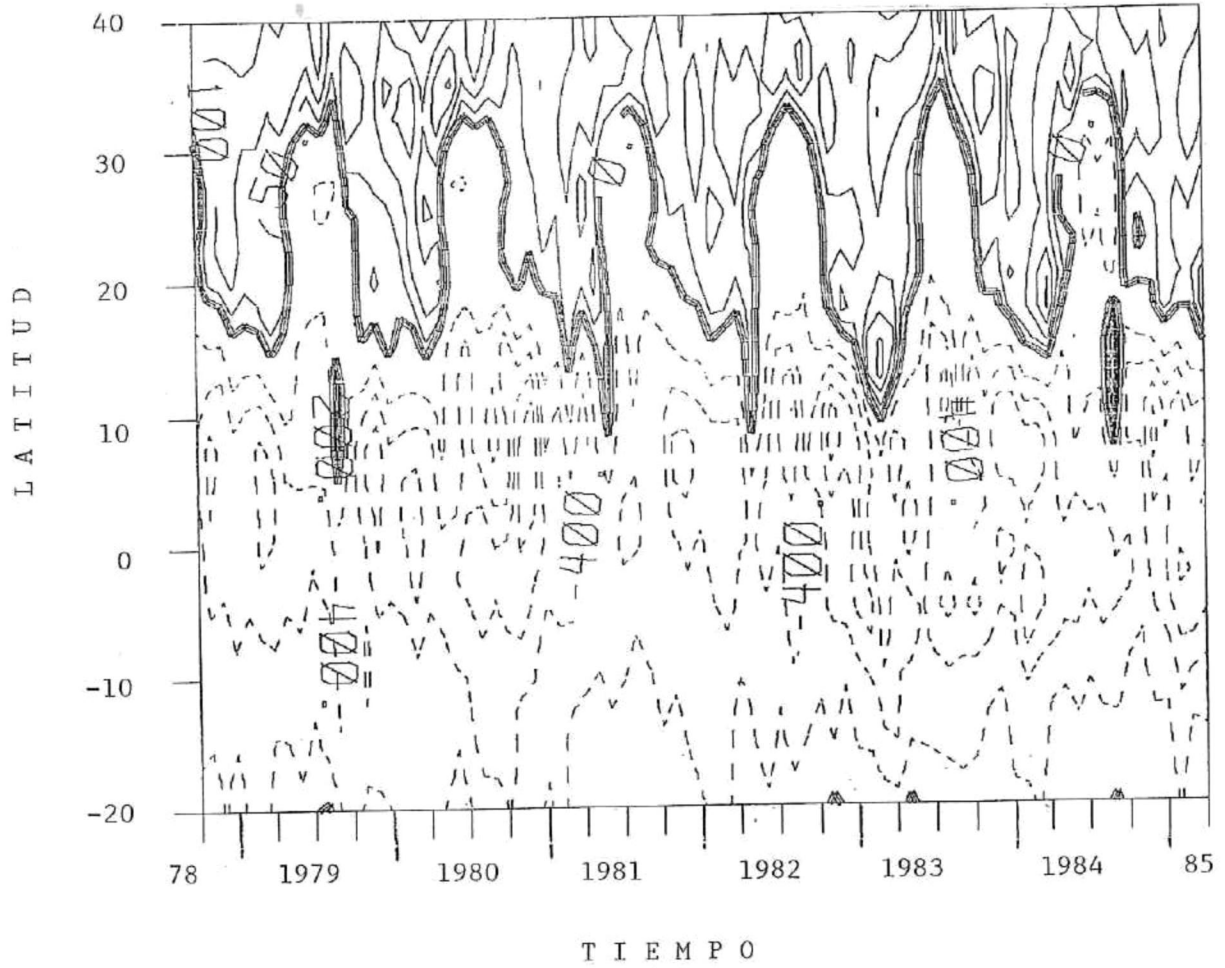


Fig. 57. - Lo mismo que la figura 56 solo que para el nivel II.

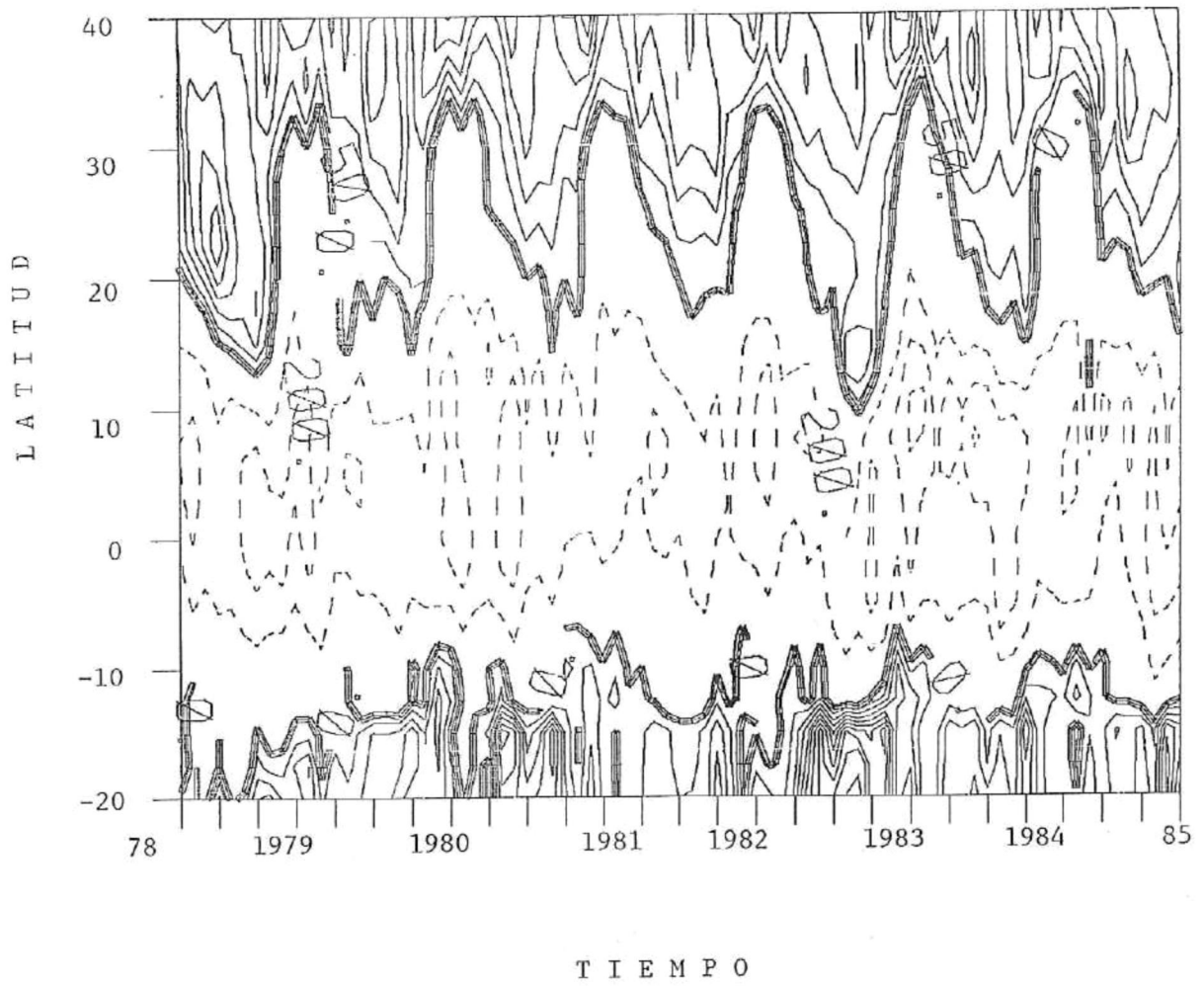


Fig. 58. - Lo mismo que la figura 56 solo que para el nivel III.

este, éstas oscilaciones son un poco más irregulares en el nivel I. En cuanto al nivel II, sólo hay dos centros aislados de flujo del oeste, que interrumpen el flujo del este entre 5 y 15 grados N en Agosto de 1979 y 1984. El nivel III muestra, durante 1979 considerables intensidades en las latitudes de 15 a 25 grados N; durante 1983 ésta lengüeta se prolonga más al sur hasta los 8-10 grados N.

Es interesante notar que el flujo del este en el tercer trimestre de cada año, está en las más altas latitudes dentro del área estudiada, a los 35 grados N y el flujo del oeste abarca más que nada parte del invierno y la primavera cada año entre los 100 y 110 grados W.

#### 3.4.2 Flujo Meridional

De la figura 59 a la 61 se muestran las secciones transversales del flujo meridional verticalmente integrado de los 100 a 110 grados W de Octubre de 1978 a Marzo de 1985. En ellas se aprecia que el patrón de flujo más homogéneo es el que encontramos entre los 1000 y 850 mb y vemos que se va haciendo más heterogéneo a medida que se va ascendiendo. La evolución mensual del flujo meridional del nivel I sigue más ó menos un mismo patrón durante todos los años estudiados, el flujo del sur domina casi toda la

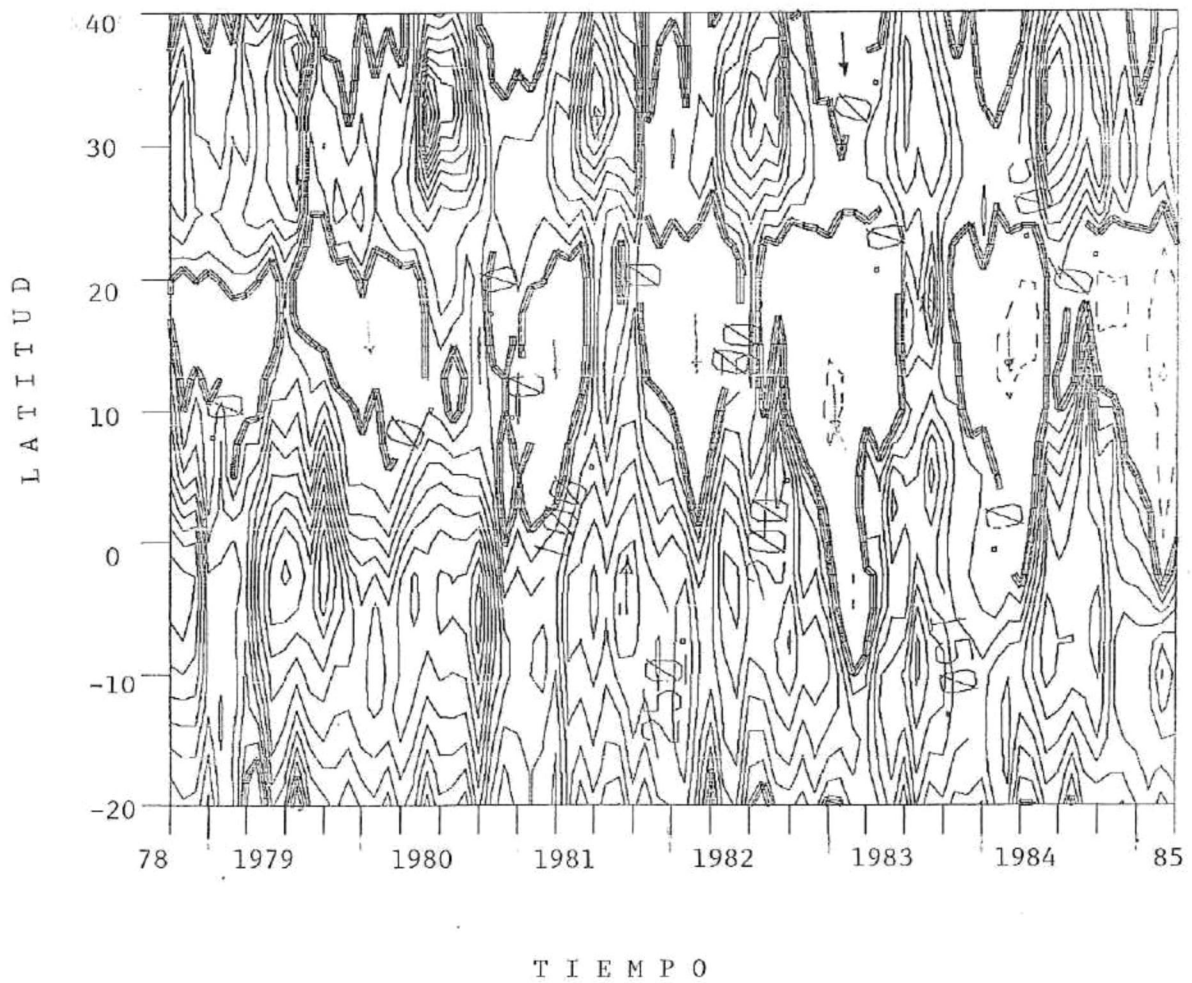


Fig. 59. - Lo mismo que la figura 56 solo que para el flujo meridional.

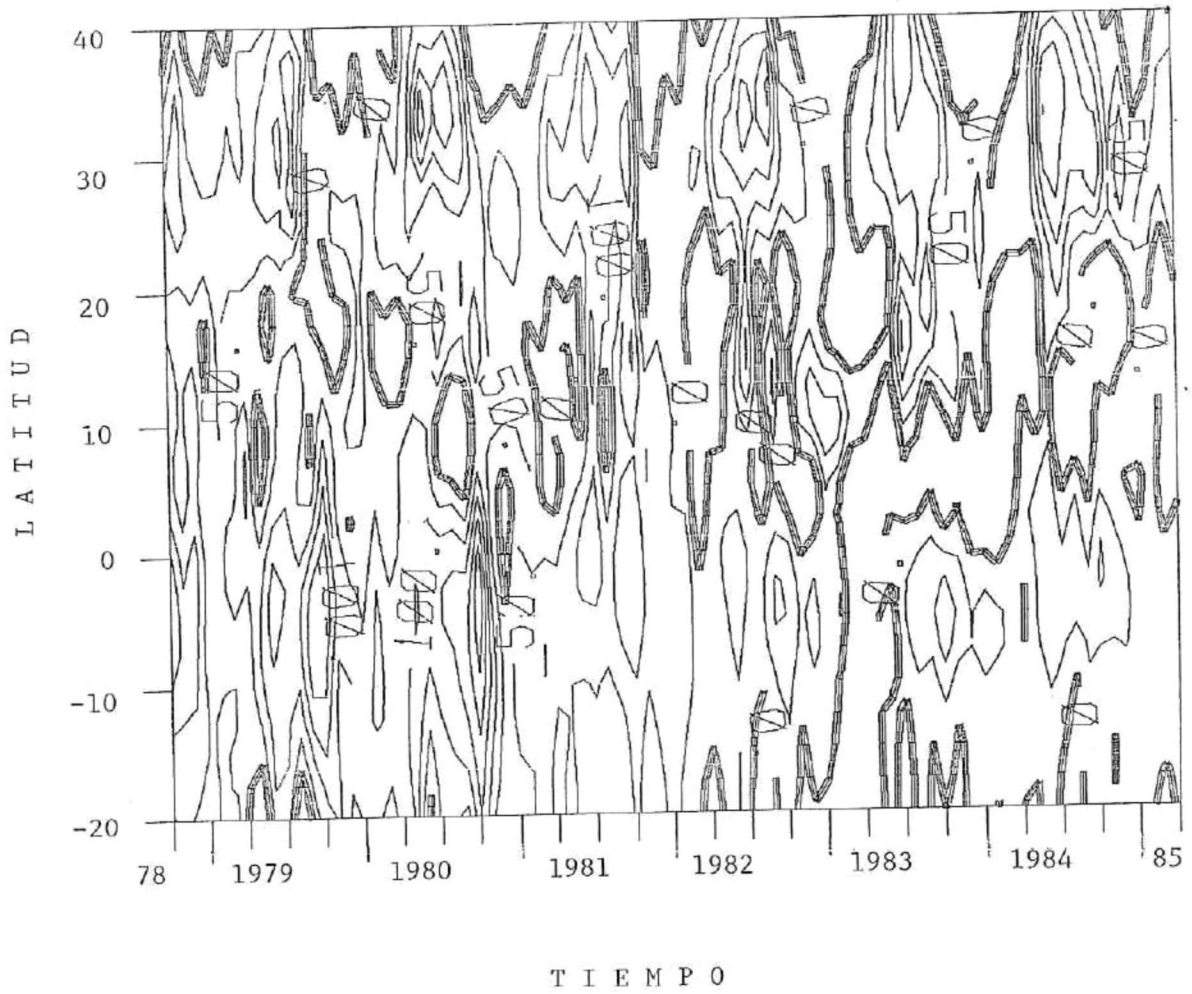


Fig. 60. - Lo mismo que la figura 56 solo que para el flujo meridional y nivel II.

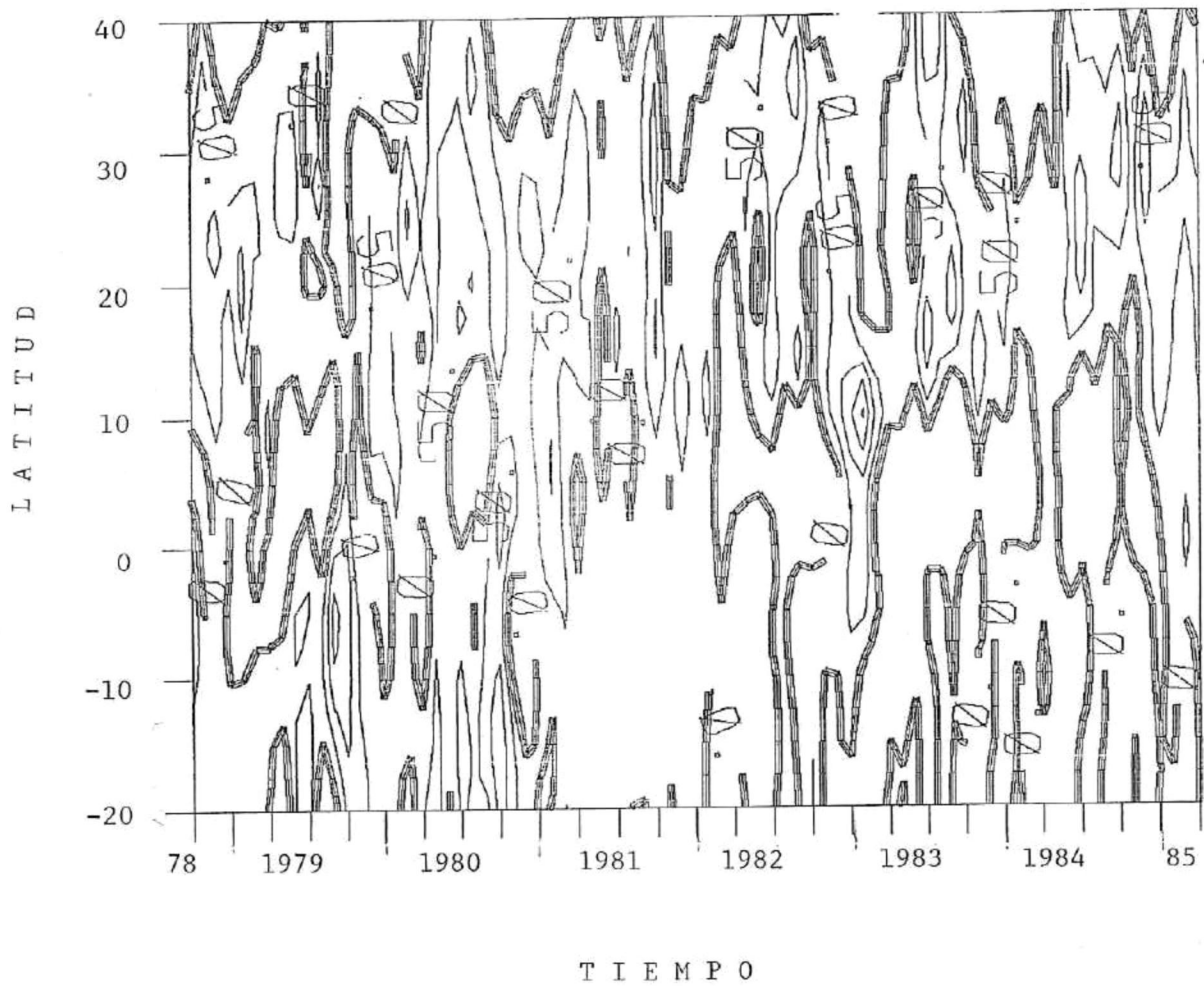


Fig. 61. - Lo mismo que la figura 56 solo que para el flujo meridional y nivel III.

región comprendida entre los 10 grados N y 20 grados S y solamente hay penetración de la componente del norte que llega hasta el ecuador el primer semestre de cada año a partir de 1981, y en 1983 tiene su máxima extensión casi hasta los 10 grados S. Es interesante notar que en el nivel 1 de los 10 grados N a los 20 grados N el flujo del norte domina casi por completo, excepto por un canal que se forma aproximadamente en el tercer trimestre (verano) de cada año por donde penetra flujo del sur del HS al suroeste de México. Al ir ascendiendo, éste patrón de flujo tan definido en el nivel 1 se va haciendo más heterogéneo, de tal manera, que no se puede evidenciar una continuidad para cada tercer trimestre del flujo del sur; por el contrario se pueden detectar pequeños núcleos con flujo del norte entre 0-10 grados N, sugiriendo una circulación de retorno, aunque no bien definida. De los 20 a los 40 grados N casi domina por completo el flujo del sur a excepción de el primer trimestre de cada año en donde hay influencia del flujo del norte.

#### 3.4.5 Campo de Agua Precipitable

De la figura 62 a la 64 se muestran las secciones transversales latitud/tiempo del campo de AP. Los resultados para los tres diferentes intervalos estudiados

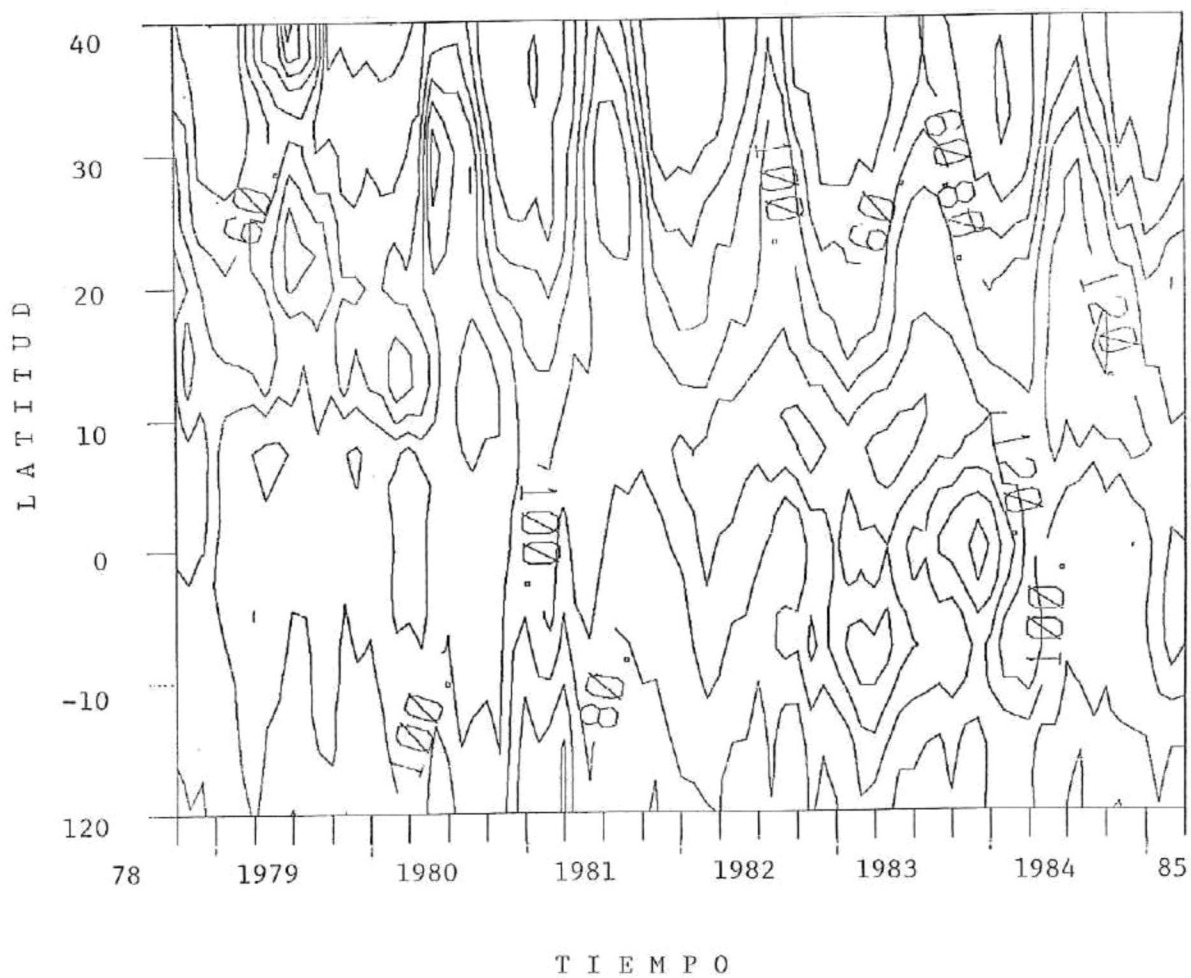


Fig. 62. - Lo mismo que la figura 56 solo que para el campo de agua precipitable del nivel I. Las unidades están dadas en mm.

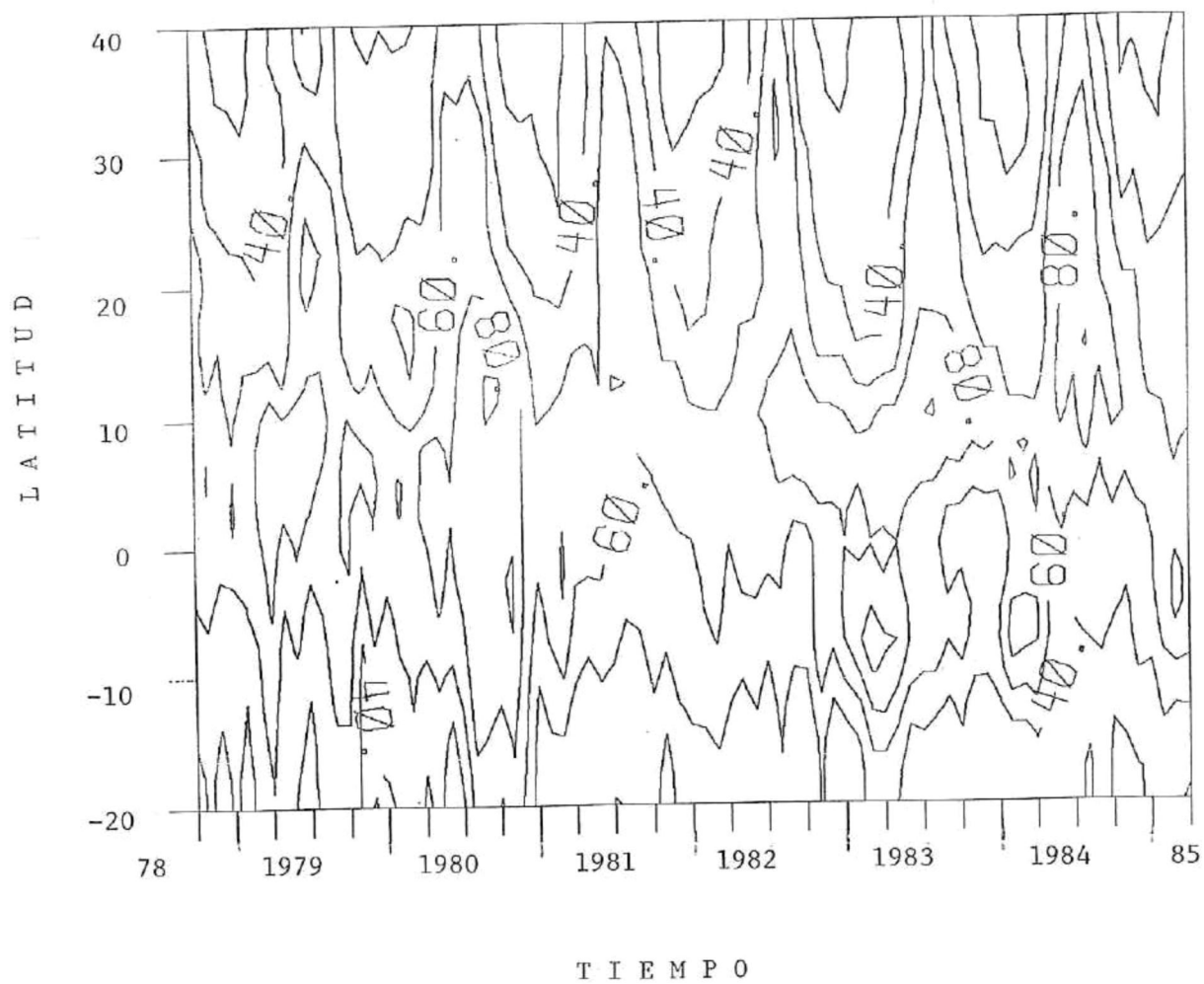


Fig. 63. - Lo mismo que la figura 62 solo que para el nivel II.

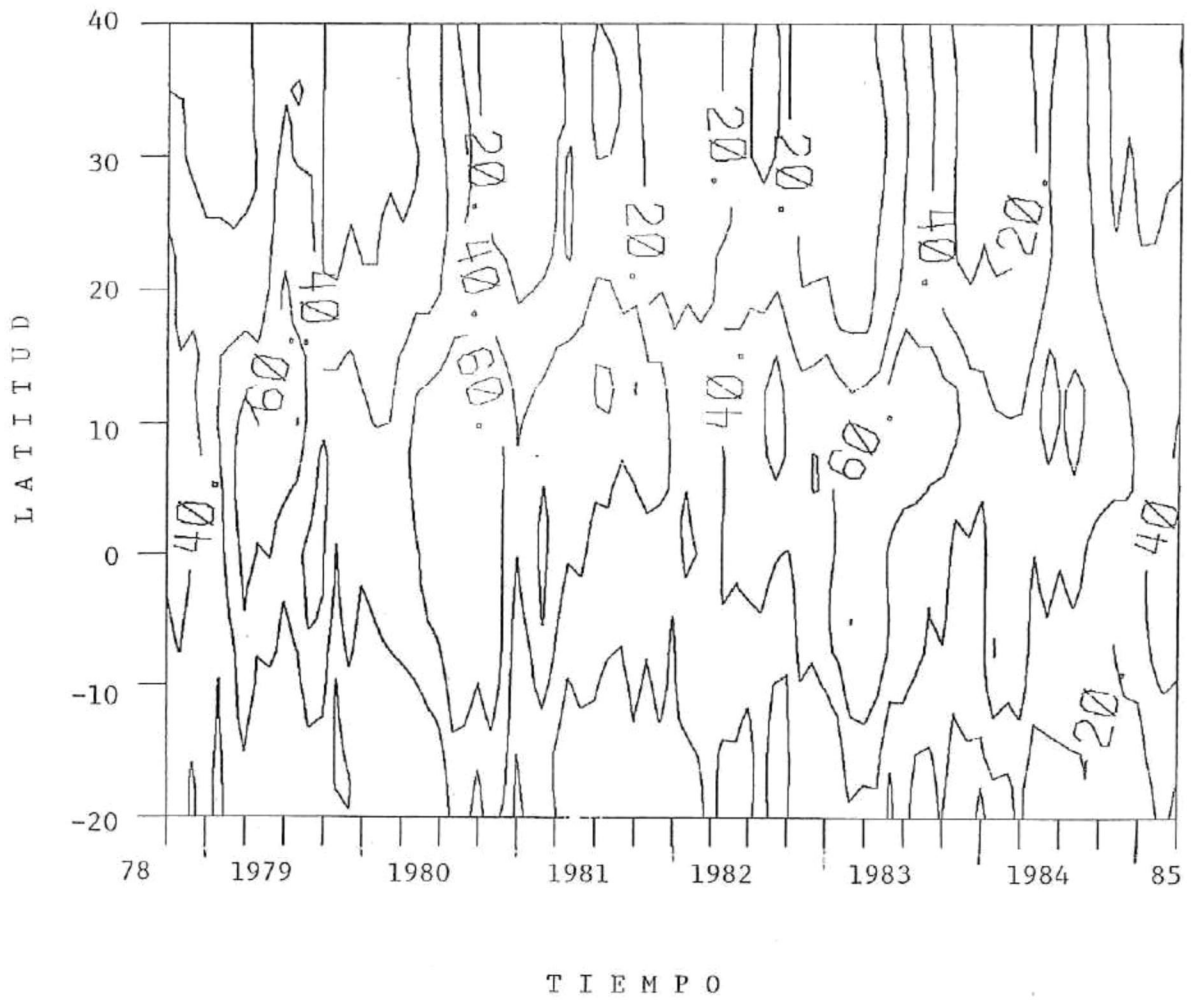


Fig. 64.- Lo mismo que la figura 62 solo que para el nivel III.

son muy similares en cuanto a que la región ecuatorial es en donde se encuentran los máximos valores.

Es notable que el nivel superficial tiene las mayores magnitudes hasta de 140 mm. Fuera de la región ecuatorial sólo en el tercer trimestre de 1981 encontramos valores altos entre los 20 y 30 grados N y de los 10 a los 30 grados N en el tercer y cuarto trimestre de 1984, los otros dos niveles tienen más ó menos el mismo patrón, sólo que las magnitudes disminuyen al ir ascendiendo ya que en el nivel II son hasta de 100 mm y en el nivel III hasta de 60 mm.

### 3.5 Perturbaciones Tropicales en el OPTE y Anomalías en la Precipitación sobre México

De la figura 65 a la 67 se representan las trayectorias de las perturbaciones tropicales acumulados durante Mayo-Octubre de todos los años (1979-1984). La flecha indica la dirección de desplazamiento y en general, se observa que la dirección predominante es de sureste a noroeste conforme avanza el verano; con una mayor densidad al sur del estado de Guerrero y latitudinalmente entre los 11 y 15 grados. El número total de perturbaciones en éste período fué de 101. Las máximas formaciones fueron en el

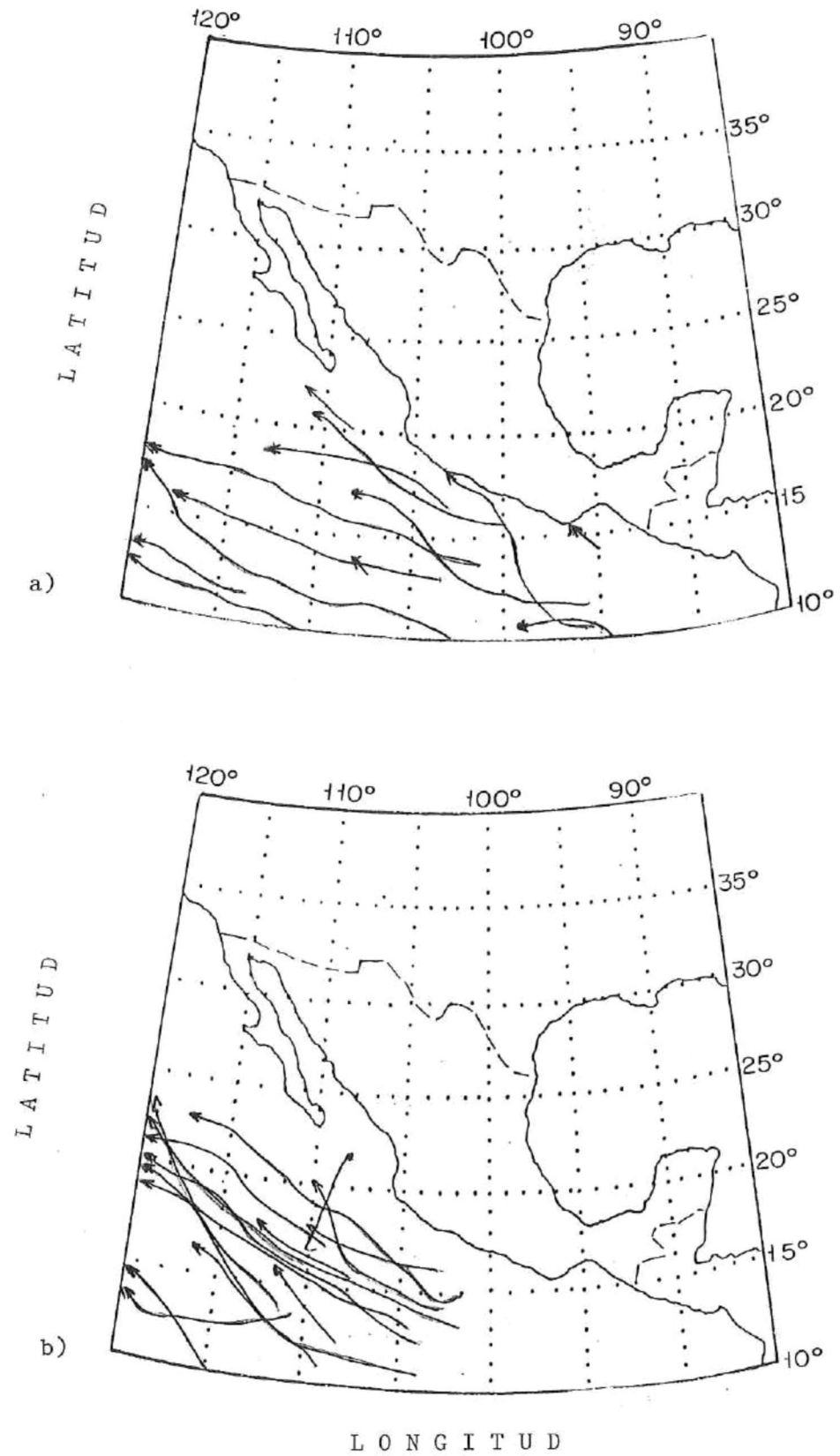


Figura 65.- Trayectorias de perturbaciones tropicales acumuladas de Mayo-Octubre de a) 1979 y b) 1980. La dirección de desplazamiento esta indicada con la flecha.

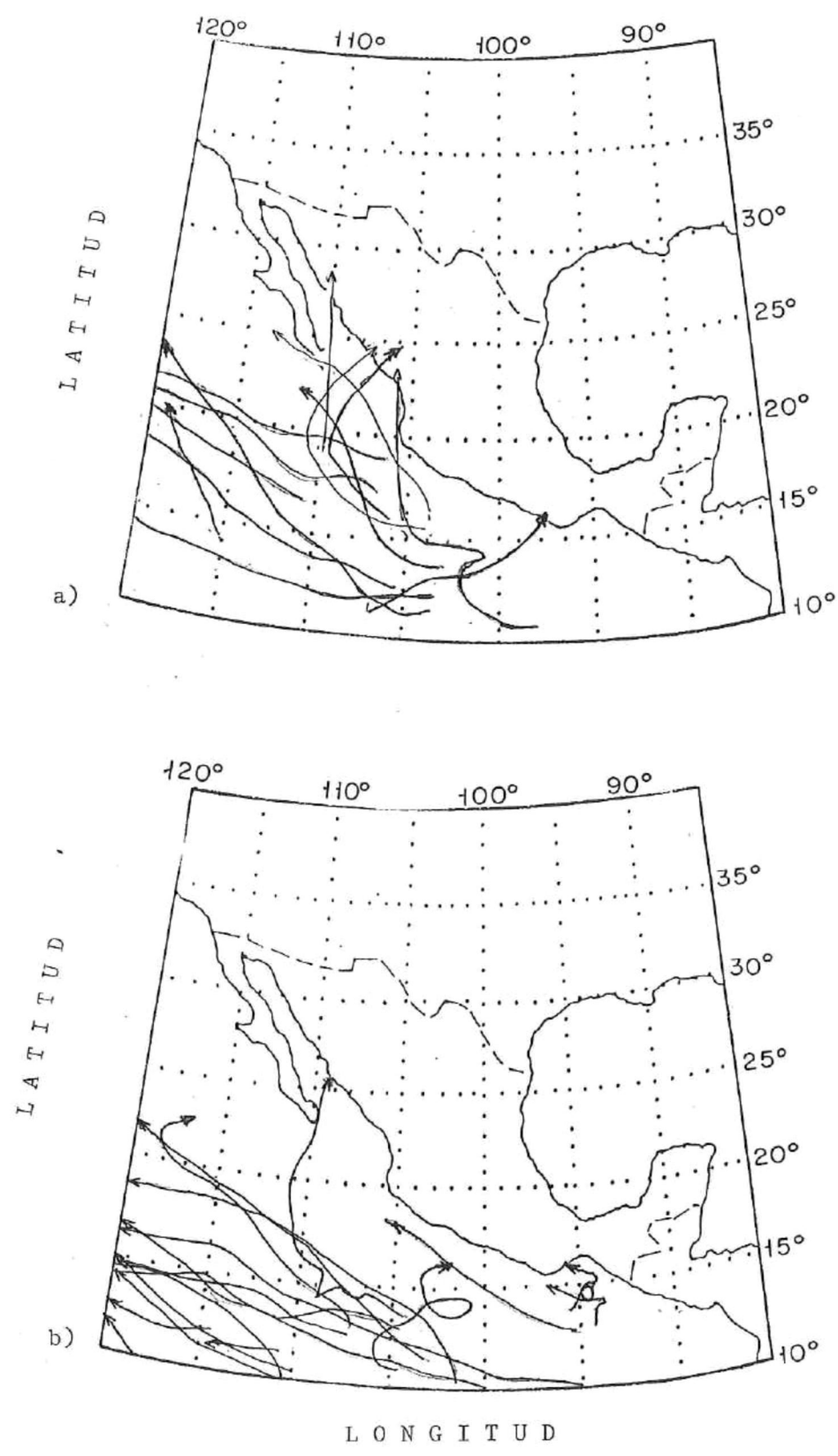


Figura 66.- Trayectorias de perturbaciones tropicales acumuladas de Mayo-Octubre de a)1981 y b) 1982. La flecha indica la dirección de desplazamiento.

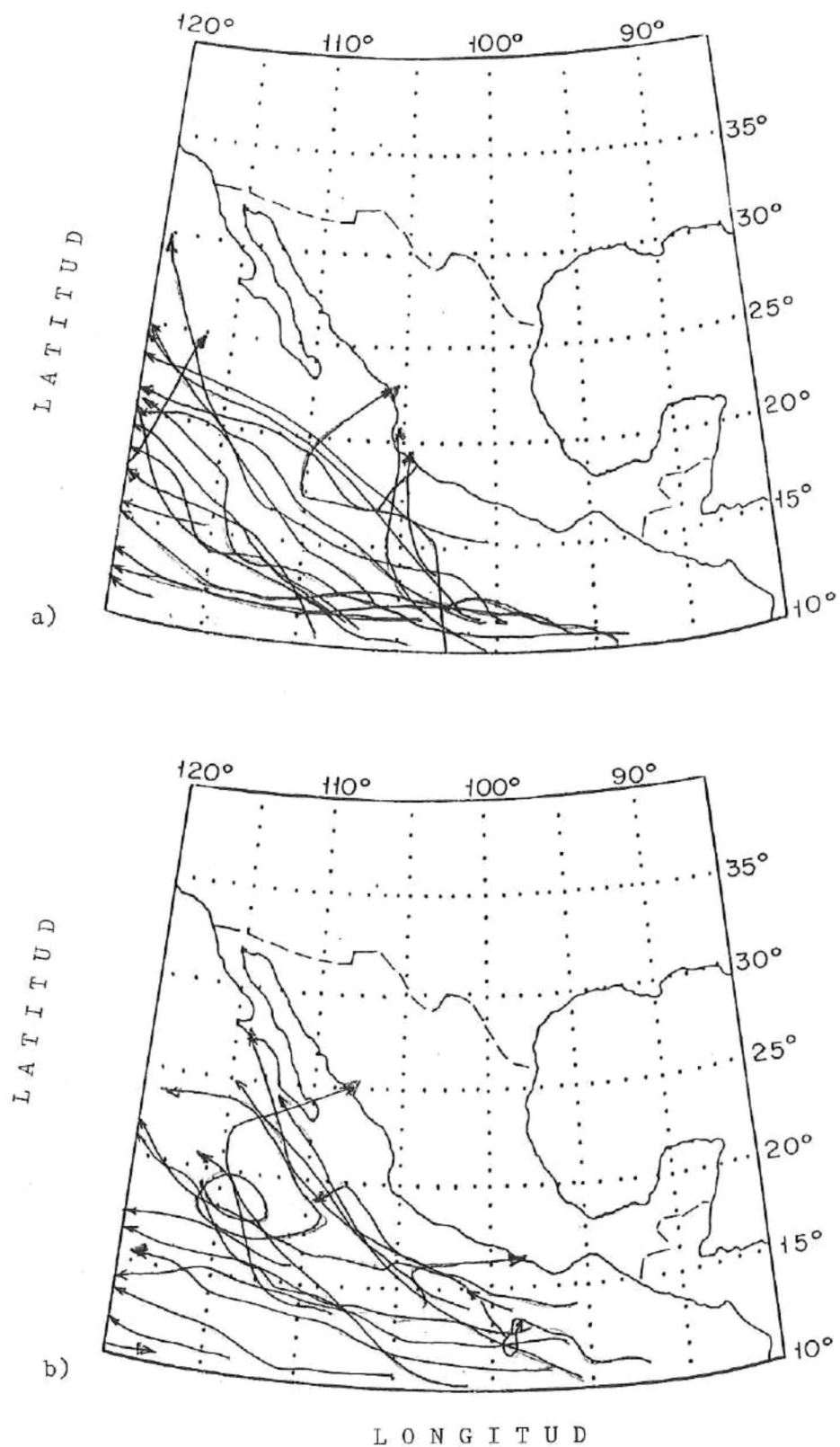


Figura 67.- Trayectorias de perturbaciones tropicales acumuladas de Mayo-Octubre de a) 1983 y b) 1984. La flecha indica la dirección de desplazamiento.

año de 1983. En la Tabla 1 se pueden observar los resultados en número de perturbaciones tropicales. Si tomamos en cuenta que el promedio por año tomando los últimos 19 años hasta 1984 es de 15 (Gunther, 1985), vemos que los únicos valores que están fuera de lo normal son los últimos 3, y que los 3 primeros están entre normal y abajo de lo normal. En cuanto a las anomalías de la precipitación durante los años de estudio, estos se pueden apreciar en la figura 68 la cual se divide en 3 gráficas, una para cada región en donde la primera es la parte norte de la costa de México que incluye sólo el estado de Sonora la segunda región ó intermedia incluye los estados de Sinaloa y Nayarit y la tercera ó región sur abarca desde el estado de Jalisco hasta Guerrero. En éstas graficas se puede apreciar de manera clara que durante los 6 años el promedio de las anomalías esta muy por abajo de lo normal.

ANO	TOTAL PERTURBACIONES TROPICALES	TOTAL PERTURBACIONES QUE TOCARON TIERRA
1979	13	2
1980	15	--
1981	14	6
1982	21	2
1983	21	3
1984	17	2
TOTAL	101	

Tabla 1.- Número de perturbaciones tropicales que ocurrieron cada año durante el período de estudio en el OPTE cercanas a la costa oeste de México.

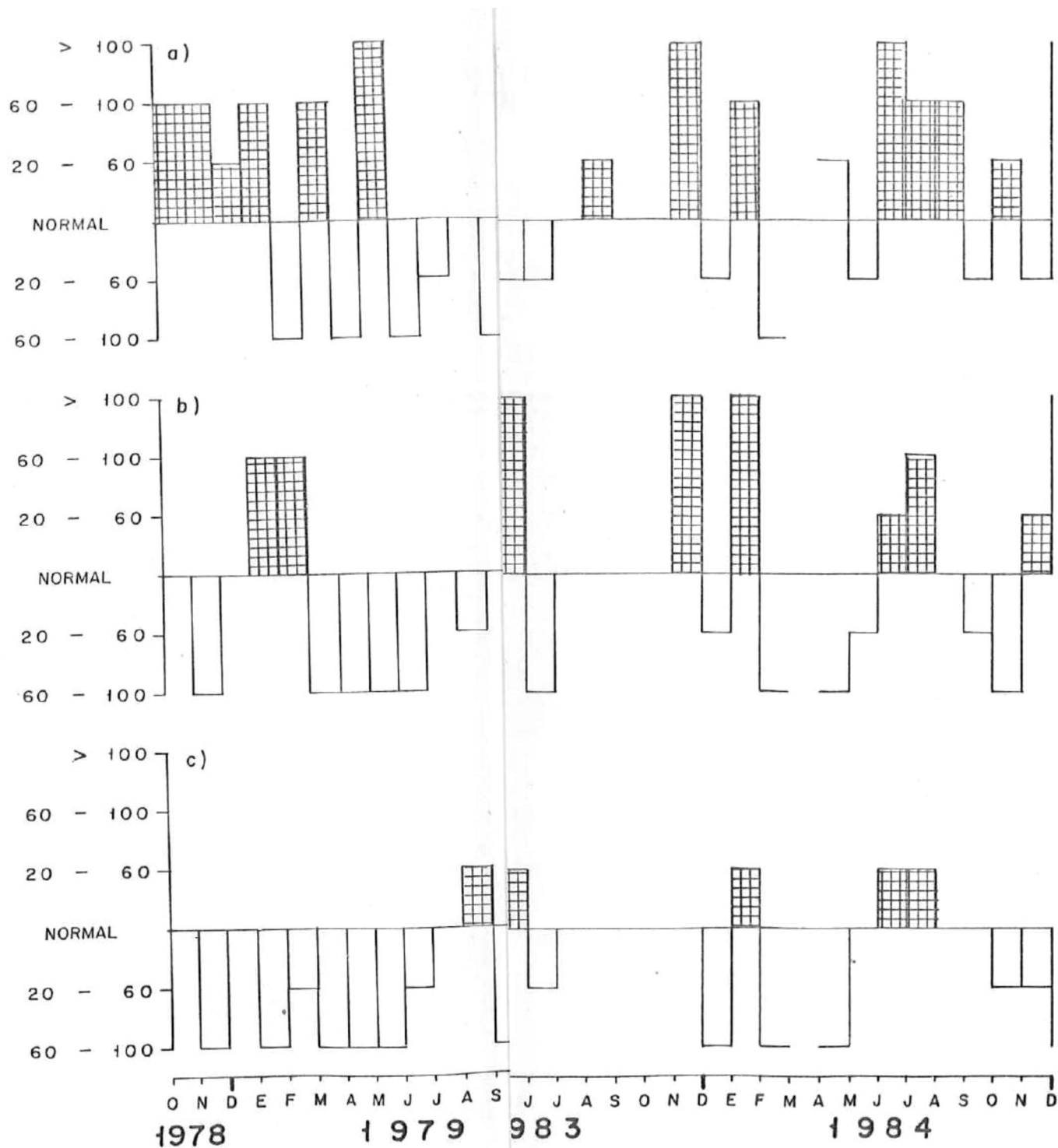


Fig.- 68 Anomalías de media: Sinaloa y Nayarit y  
 c) región sur:

#### 4 DISCUSIONES

Para ser consistentes en el análisis, las discusiones se harán con el mismo orden de los resultados, discutiendo primero de manera general las características del flujo de vapor de agua y el campo de agua precipitable, y después más detalladamente por medio de un análisis de los resultados de las series transversales latitud/tiempo.

##### 4.1 Flujo Zonal de Vapor de Agua

El flujo del este predomina en casi toda la región tropical transportando gran contenido de humedad proveniente del Mar Caribe y de la región este del Golfo de México. Rasmuson (1967) encuentra que la principal fuente de humedad que penetra hacia la parte este de Norte América se localiza en un cinturón entre los 15 grados N y 30 grados N, proveniente del Mar Caribe y el Golfo de México. El sentido y dirección del flujo de vapor de agua está controlado por el viento, por lo tanto seguirá el patrón del sistema de vientos planetarios ó de origen local sobre el área de estudio; en éste caso los vientos alisios son los causantes principales del flujo del este en la región tropical.

Los centros de flujo del oeste sobre la región tropical pueden ser debidos a diferentes causas: la influencia del Centro de Alta Presión (CAP) de California y el efecto topográfico de la Sierra Madre Occidental en México y las Montañas Rocosas en EUA pueden ocasionar que el flujo del este proveniente de la región del Caribe se encuentre con el flujo del oeste procedente del Océano Pacífico y es así como la isolínea de cero va paralela a las costas de Norte América formando la lengüeta de flujo del oeste. Al ir ascendiendo vemos que el flujo del oeste ocupa mayor espacio; si bien los niveles I y II son muy parecidos, en el nivel III aparece flujo del oeste de los 20 grados S a los 10 grados S, ésto por que en los niveles superiores se presenta un flujo de retorno a los polos que es desviado al este por el efecto de Coriolis y la disminución del efecto de irricción. También se observa que conforme avanza el verano hay un corrimiento hacia el norte de la franja del flujo del este, debido al desplazamiento latitudinal de la zona de máxima radiación solar. La aparición de centros de flujo del oeste también es favorecida por perturbaciones tropicales y vientos relativamente fuertes de los CAP que favorecen la acumulación de vapor de agua, aumentando así, el transporte. En particular, el centro de flujo del oeste que se observa entre Australia y Surasia desde principios de 1982 es una anomalía que se intensifica conforme pasa el

tiempo sobre la región ecuatorial hacia América, y por otro lado hacia el Pacífico a lo largo de la corriente de Kuroshio; por todo esto, es evidente que ésta anomalía esté en relación directa con el fenómeno del ENOS.

En cuanto al análisis de las series transversales latitud/tiempo del FZVA se puede observar un ciclo estacional muy definido en el HN con penetración hacia el norte de flujo del este durante los veranos, algunos periodos cortos de flujo del oeste sobre la región de los 10 a los 20 grados N lo cual sugiere una circulación térmica regional periódica al suroeste de México y Centro América. En el nivel superficial, alrededor de los 20 grados N, el más grande flujo del este se ve en 1980; mientras que en el verano de 1981 e invierno de 1981-1982 éste flujo se redujo prácticamente a cero, lo cual indica que el flujo que venía del Golfo de México ó del Atlántico era prácticamente cero, eso en combinación con el flujo débil que venía del sur (ver sección 4.2) hizo que hubiera bajo contenido de vapor de agua en la región de la vertiente del Pacífico Mexicano en 1982 (ver sección 3.6). No se observa un ciclo estacional en el HS, aquí solo encontramos flujo del este en los dos primeros niveles (que cubren de los 1000 mb a los 700 mb), y en el tercer nivel (de los 700 a los 500 mb) se observa un ciclo más ó menos

estacional de flujo del oeste; pero con los picos de flujo al contrario del HN.

#### 4.2 Flujo Meridional de Vapor de Agua

En general éste flujo tiene una estructura muy complicada, ya que tanto el flujo del norte como el del sur varían en tiempo y espacio. El flujo del sur es más variable que el del norte, sufre aumento hacia el norte desde Mayo y conforme avanza el verano. El flujo del sur es el principal agente de transporte de humedad del OPT a la vertiente oeste de México, desempeñando un papel muy importante durante el periodo de lluvias de ésta región (ver sección 4.4). El flujo del norte observado sobre la región del Océano Pacífico norte y gran parte de Sudamérica en los dos niveles inferiores que cubren de los 1000 a los 700 mb se debe en gran parte por los GAP frente a las costas de California y el sureste de Brasil respectivamente. El flujo del norte localizado sobre Centro América puede deberse a la influencia de los vientos del GAP de las Azores.

En cuanto al análisis de las series transversales latitud/tiempo del FNVA, se observa que en el primer nivel hay un patrón de flujo estacional claro, los flujos tanto

del norte como del sur se pueden ver muy bien definidos, se observa flujo hacia el norte en el verano-otoño de cada año. En el año de 1979 se ve un canal pequeño, en 1980 éste canal es más amplio y con mayores intensidades, pero en 1982 es relativamente pequeño y débil, en 1983 se reactiva y llega a ser el de mayor magnitud, en 1984 aparentemente también se intensifica, éstos dos años fueron más lluviosos (ver sección 3.6) que los anteriores, entonces con éstos datos ya se puede hablar de una circulación monzónica de bajo nivel, lo cual concuerda con Reyes y Cadet (1987) que dicen que la circulación monzónica se manifiesta fundamentalmente en los niveles superficiales. En éste nivel se nota también claramente sobre la región tropical el fenómeno del ENOS ya que se aprecia gran cantidad de flujo que viene del norte en la época de otoño de 1982 a la primavera de 1983, ésta lengüeta penetra hasta las latitudes del HS en los 10 grados S, en 1984 también llega al ecuador, pero en los años anteriores no alcanzó las latitudes cero. En el nivel II y III aunque sí se aprecia considerable flujo hacia el sur durante el evento del ENOS, no se observa un ciclo estacional definido como en el nivel I y II se puede decir que la influencia de la corriente de bajo nivel que se ha asociado a la circulación monzónica deja de tener la importancia conforme se va ascendiendo, y al mismo tiempo

empiezan a entrar en juego otras circulaciones de tipo planetario que enmascaran lo que está pasando en la circulación monzónica, de tal manera que ésta circulación no se hace evidente en el segundo nivel como lo es en el nivel superficial; lo único que está en concordancia en éstos dos niveles es que en la época de invierno de 1982-1983 hay una penetración de flujo del norte hasta prácticamente 10 a 20 grados S, lo cual indica que ahí la circulación planetaria se hizo contraria a lo normal, hubo una anomalía muy notoria en esa época, lo cual está directamente asociada con el fenómeno de ENOS. En el nivel III ha sido imposible cuantificar o detectar la circulación monzónica a pesar de que tiene aparentemente mayor regularidad que el nivel II pues por ejemplo vemos que en el invierno de 1982-1983 hay un flujo que viene del norte y en el nivel superficial vemos que en esa misma región viene del sur, entonces ésta circulación contraria puede ser debida a fenómenos de escala planetaria y no a una circulación de tipo monzónica.

#### 4.3 Campo de Agua Precipitable

Se encuentra una disminución en la cantidad de AP en latitudes altas comparadas con el ecuador, esto se debe a que en las zonas tropicales existe una mayor retención de

vapor de agua, principalmente en la época de verano. Los valores más altos de AP se encuentran en el nivel 1 (superficial) debido a que la fuente principal de vapor de agua atmosférico se encuentra sobre la tierra, y es precisamente sobre los océanos (en los dos primeros niveles) donde encontramos los máximos valores de AP debido a que ahí hay una mayor evaporación. Los valores más altos se localizan aproximadamente de los cero grados a los 20 grados N sobre el Océano Pacífico, costa oeste de Centro América, las Antillas y al norte de Brasil principalmente. Estas áreas de máximos valores sobre el Océano Pacífico y Centro América aumentan su área conforme avanza el verano principalmente hacia el oeste probablemente por que es una zona de máxima radiación solar y caracterizada por la existencia de una zona de convergencia, y confluencia de los vientos alisios del sureste y del noreste. También influyen en ésta zona las corrientes ecuatoriales del norte y sur con altas temperaturas que transfieren mediante la evaporación (humedad y calor) al nivel inferior de la atmósfera. También se observan altos valores de AP en el Golfo de México y Mar Caribe por el avance de la zona de máxima radiación, conforme avanza el verano. Se encuentran bajos valores sobre las costas oeste de Sudamérica y Norteamérica debido también a corrientes, en éste caso la Corriente del Perú y Corriente de California

respectivamente. En la parte continental, es al norte de Brasil, sobre la zona del Amazonas, donde encontramos los valores más altos de AP, ya que ésta gran extensión de vegetación proporciona una gran cantidad de vapor de agua por medio de la evapotranspiración. Se observa que a partir de 1981 las áreas con valores mayores a los 24 mm son más pequeñas en comparación con los años posteriores probablemente, a causa de la modificación del modelo que se hizo a partir de 1980 (ver sección 2.6). En 1982 se encuentra por medio de datos de anomalías de precipitación que se desarrollaron condiciones de sequía sobre México durante el verano, ésto fué acompañado de temperaturas por arriba de lo normal y datos de nubosidad, muestran un desplazamiento hacia el sur de la ZCI (Douglas, 1982) coincidente con los altos valores de AP observados en 1982 sobre el OPTE. Frecuentemente ocurren condiciones de sequía en el suroeste de México durante el desarrollo del fenómeno de ENOS, con desplazamiento hacia el sur de la ZCI y ocurrencia de perturbaciones tropicales al sur de la costa pero sin llegar a ella (Douglas, 1982).

En cuanto al análisis de las series transversales latitud/tiempo de AP se encuentra algo muy similar en cuanto a la anomalía de ENOS de las series transversales latitud/tiempo del FMVA, disminución de los valores de

vapor de agua en la región de América en el HN en 1982-1983, y una gran cantidad de vapor de agua en la región ecuatorial en éste mismo periodo, especialmente durante el invierno de 1984 se reavivan las altas magnitudes de AP en el HN y disminuye en el HS, en 1980 se ve también una anomalía (valor positivo alto) en el ecuador, anterior a 1981 y de esto se puede decir que los datos en ésta parte estan más ó menos turbios en cuanto a su interpretación y validez debido a los cambios del modelo, ya que el campo de AP es el que esta más afectado por estos cambios, pues a diferencia de los campos de viento que no son tan afectados y son más confiables el campo de humedad como es un parámetro más difícil de estimar en base a las observaciones, los aparatos son mucho más caros, no hay muchos y son más fácilmente sujetos a error y el modelo ayuda a que éstos se amplifiquen. Entonces antes de 1981 hay poca confiabilidad (Dey y Horone, 1985). Lo que si se puede observar, aunque el modelo haya metido cierto ruido es la gran cantidad de vapor de agua que se observa en la región ecuatorial y parte del HS durante la época del invierno de 1982-1983, y las magnitudes son tan grandes que el modelo no pudo haber sacado valores tan altos por error, entonces podemos considerar éstos valores como realistas, así como al patrón tan anómalo que se observa en esa región, además se puede

asociar con ENOS. Esto se observa hasta el nivel II, pero en el nivel III ya no es muy significativa la magnitud, entonces en éste nivel no podemos decir que hay una influencia total del ENOS.

#### 4.4 Perturbaciones Tropicales-Anomalías en la Precipitación-Flujos

Lo que se observa inmediatamente sobre todos los resultados juntos es que no existe una correlación obvia entre huracanes, anomalías de precipitación y flujos. Se observa que durante el año de 1982 antes del fenómeno ENOS el número de perturbaciones tropicales fué de 21 y dado que en 1982 hubo una anomalía negativa muy grande de la precipitación, ésto se vuelve difícil de explicar, además de la anomalía negativa que se obtuvo como resultante en todo el período de estudio. Se observa que mientras que en la región del norte de México en el tiempo del ENOS hubo lluvias por abajo de lo normal, en cuanto a las perturbaciones tropicales si fueron significantes, si se toma como el promedio de estas del orden de 15 por año (Guntner, 1985) por lo tanto podemos decir que la anomalía de la precipitación en ésta región no depende fundamentalmente de los huracanes y probablemente sí de los flujos de vapor de agua. Vemos que en la región sur en

1981 la anomalía de la precipitación es negativa aunque haya habido muchos huracanes, mientras que en éste mismo año en la región norte hay una anomalía positiva muy grande, y en cuanto a la región intermedia de éste año aunque varios huracanes tocaron tierra, la anomalía de la precipitación fué mas bien negativa. Todo ésto indica que aunque haya llovido debido a los huracanes no fué suficiente para que estuviera por arriba de lo normal. Por lo contrario, en la región norte entro un huracán y también hay una anomalía negativa muy grande de la lluvia, lo cual indica que como así llueve mucho menos, un huracán desencadenaría una cantidad de lluvia alta, mientras que ésto mismo en la región del sur daría como resultado lluvia poco significativa, entonces en este caso la lluvia en la región del norte se puede deber en parte a la circulación monzónica y en el caso específico de ése año al huracan. Podríamos decir que en el caso de que las lluvias no se deban a las perturbaciones tropicales se deberan entonces a flujos atmosféricos de vapor de agua. Analizando los resultados del flujo superficial en 1981 vemos que el grueso del canal a lo largo de 100 y 110 grados W y la magnitud de flujo que viene del sur es mayor que en 1982; en 1983 se mantiene; 1981 y 1983 son mayores que 1979 y 1980 ya que éste último tiene una especie de rompimiento, si nada más consideramos el flujo superficial vemos que los

flujos mayores están básicamente en 1981 y 1983 y las mayores anomalías positivas de la precipitación en la región del norte en 1981 y 1983 mientras que en 1982 fueron por abajo de lo normal, lo cual es una evidencia de que la circulación monzónica fué cortada ó eliminada, en ningún momento llovió por arriba de lo normal en 1982, coincidente con que el flujo atmosférico meridional fué bastante reducido. La anomalía positiva a fines de 1978 y principios de 1979 pudo haberse debido a una circulación proveniente del Pacífico norte ya que en esos meses llueve principalmente por efecto de latitudes medias y no a una circulación monzónica, entonces pudo haberse debido a los fenómenos extratropicales (frentes). En cuanto al verano de 1979 vemos una anomalía negativa, la cual coincide con un flujo meridional relativamente débil, en el verano de 1980 como que se intensifica pero aún así hay una especie de rompimiento y ésto no es una circulación monzónica ó un flujo como el que se aprcia en 1982-1983. En cuanto a 1984, se observan anomalías positivas en el verano, aunque también existe un rompimiento, entonces aquí no se puede hacer la misma comparación de 1980 y 1984 más bien hay que ver que pasa más al sur y con los otros flujos. Podemos decir con todo lo anterior expuesto que si la circulación monzónica afecta de alguna manera la precipitación lo hace principalmente en los estados del norte.

Analizando el flujo meridional del nivel II se observa que éste se hace muy irregular y ya no es fácil detectar la circulación monzónica, se observa que en el mismo lugar el flujo meridional entre el nivel I y nivel II hay una circulación encontrada: por arriba está soplando hacia hacia el sur y por abajo hacia el norte: en el segundo y tercer trimestre de 1983 (verano y parte de otoño) entre cero y 10 grados hay una corriente de retorno, entonces no podemos decir que la circulación monzónica sea una circulación que afecte todas las capas de la atmósfera, más bien está restringida a los niveles bajos de la atmósfera. Por otro lado, se ve en éste mismo año en 20 grados de latitud en el verano-otoño flujo que viene del sur y una gran mancha que viene del norte, lo cual pudo haber afectado la anomalía negativa que se observa. En el verano de 1981 sí se ve un flujo que viene del sur más ó menos en todo el verano-otoño de todas las latitudes; en 1982 hay flujos débiles que vienen del sur y del norte y comparando las intensidades: en 1981 flujos del sur más ó menos de 100; en 1982 no son tan intensos ni por tanto tiempo; en 1983 son de 50 y de 100 y en 1984 no hay flujo durante el verano; entonces según esto podemos decir que el nivel medio y el superior no están tan directamente relacionados con la circulación monzónica y tampoco con las anomalías de precipitación como se sugiere para el nivel superficial;

por otro lado las magnitudes son mucho más pequeñas que en el nivel superficial (del orden de la mitad y un tercio).

En cuanto a los resultados de las anomalías de la precipitación, éstos datos no llegan a ser muy confiables ya que es difícil esperar que durante seis años el promedio esté muy por abajo de lo normal que de acuerdo a las condiciones de Reynolds (Monin y Yaglom, 1971), la suma de las anomalías debería ser cero. Actualmente se está tratando de corroborar los resultados de las anomalías de la precipitación en la sección de Meteorología del CICESE.

En cuanto a flujos meridionales, éstos nos indican una correlación positiva más ó menos buena en la región del norte en donde en el año de 1985 se observa una circulación monzónica intensa y en contraposición a eso, en 1982 se ve que disminuye y al mismo tiempo coincide con una anomalía negativa de la lluvia, pero de todos modos no se puede decir con un 100 % de seguridad que la circulación monzónica está totalmente relacionada con ésta lluvia, ya que los datos del modelo referente a la humedad empezaron a ser confiables desde 1981 y también porque las anomalías de lluvia de los Resúmenes Climatológicos resultaron poco confiables.

## 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

Este trabajo fué dirigido a examinar la variabilidad interestacional del monzón de Norteamérica y como apoyo a ésto se cuantificaron y analizaron los flujos horizontales y el campo de agua precipitable sobre la región tropical del Océano Pacífico y América además de que se trató de relacionar anomalías de precipitación-turacanes-flujos así, de ésta manera se han podido reafirmar y extender algunas conclusiones obtenidas por otros autores (especialmente Reyes y Cadet, 1987). Las conclusiones más sobresalientes obtenidas en éste trabajo son las siguientes:

i) con el paquete de datos de los campos de viento y humedad del NMC se han podido representar eficazmente características climatológicas locales y de gran escala, tales como una circulación monzónica sobre el OPTE y suroeste de México y, el fenómeno de ENOS en 1982-1983,

ii) la mayor parte del vapor de agua atmosférico se transporta en la baja tropósfera, grandes cantidades de AP sobre regiones tropicales, especialmente sobre el OPT y norte de Brasil. Los valores máximos también son

observados donde la circulación monzónica ha sido evidente,

iii) la tropósfera media muestra un patrón similar a la tropósfera baja, sin embargo los valores son menores (del orden de una tercera parte) que en la tropósfera baja,

iv) la tropósfera superior muestra un patrón latitudinal asimétrico indicando pobre efecto superficial, pero con una mayor influencia de la circulación atmosférica meridional,

v) los valores máximos de flujo zonal fueron encontrados en la zona del Caribe, norte de Sudamérica, el OBT y, la parte oriental de México está influenciada por el Golfo de México,

vi) se observa una circulación monzónica en todos los años aunque con distintas características cada año:

a) zona de convergencia y mayor influencia del flujo interhemisférico a lo largo de una banda longitudinal centrada entre 100 y 110 grados W,

b) se observa una relación de la circulación monzónica con los patrones de precipitación observados sobre el noroeste de México; es decir, cuando la circulación monzónica influye en las anomalías de lluvia lo hace

principalmente en esa región,

c) el flujo del oeste en la región tropical de Centro América sólo es evidente durante los meses de verano tardío y para una pequeña región, dando evidencia más de la circulación monzónica en ésta área,

d) la circulación monzónica está restringida a los niveles bajos de la atmósfera,

viii) la influencia de los huracanes en la lluvia es significativa sólo en la región intermedia y del sur de la costa oeste de México.

## 5.2 RECOMENDACIONES

i) Estudiar con más detalle la posible relación espacial y temporal de la circulación monzónica con la precipitación en la región oeste de México.

ii) Utilizar datos de estaciones fijas, como radio-sondeos, observatorios meteorológicos ó bosques para poder seguir la evolución temporal y espacial de ésta circulación monzónica y sus posibles relaciones con el aporte de humedad a la vertiente del Pacífico Mexicano.

iii) Dilucidar y cuantificar la influencia del Océano Atlántico versus OPT en el aporte de humedad en la región noroeste de México y suroeste de los EUA.

## LITERATURA CITADA

- Cadet, D., 1979: Meteorology of the Indian summer monsoon. Nature, 279, 761-767.
- Cadet, D. y G. Reverdin, 1981: Water Vapor Transport over the Indian Ocean during summer 1975. Tellus, 33, 476-487.
- Datas, J. F., 1968: Introducción a la Meteorología. ESPAÑA-CALPE, España, cuarta Ed., 169 pp.
- Dey, C. H. y L. L. Morone, 1985: Evolution of the NMC global data assimilation system: January 1982 - Diciembre 1985. Mon. Wea. Rev. 113: 304-318.
- Douglas, A., 1982: The Mexican Summer Monsoon of 1982. Proceedings of the Seventh Annual Climate Diagnostics Workshop, NOAA, USA, 76-79.
- Fairbridge W., R., 1967: The Encyclopedia of Atmospheric Sciences and Astrogeology. Reinhold Publishing Corporation, Nueva York, 1200 pp.
- García, E., 1987: Variabilidad Espacial y Temporal de los

Campos Globales de vapor de Agua Atmosférico.  
Tesis Profesional, Universidad Autónoma de  
Baja California, ESCA. México, 103 pp.

García, H., Y. Cordero y C. Satin, 1975: Geografía  
de la República Mexicana, Editorial Herrero,  
249 pp.

García, J. y B. Reyes, 1969: Promedios mensuales  
del lugar y tiempo de origen de las  
Perturbaciones Tropicales en el Océano  
Pacífico Oriental. Reporte  
técnico NO-OC8501, CICESE, Ensenada,  
B. C., México, 24 pp.

Guntner, E. B., 1980: Eastern North Pacific Tropical  
Cyclones of 1979. Mon. Wea. Rev., 108, May,  
631-641.

Guntner, E. B., 1981: Eastern North Pacific Tropical  
Cyclones of 1980. Mon. Wea. Rev., 109: 1701-1712.

Guntner, E. B., 1982: Eastern North Pacific Tropical  
Cyclones of 1981. Mon. Wea. Rev., 110: 839-851.

- Guntner, E. B., 1983: Eastern North Pacific Tropical Cyclones of 1982. Mon. Wea. Rev., 111: 1080-1101.
- Guntner, E. B., 1984: Eastern North Pacific Tropical Cyclones of 1983. Mon. Wea. Rev., 112: 1419-1440.
- Guntner, E. B., 1985: Eastern North Pacific Tropical Cyclones of 1984. Mon. Wea. Rev., 113: 1393-1410.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos,  
Dirección General del Servicio Meteorológico  
Nacional. Boletines Climatológicos (1978-1984).  
México, D.F.
- Hasimoto, R., 1986: Flujos Atmosféricos de Vapor de Agua sobre la Región de Centro América y México durante los meses de Mayo a Septiembre de 1979. Tesis Profesional, Universidad Autónoma de Baja California, B.C.N., México, 62 pp.
- Hastenrath, S. L., 1966: The Flux of Atmospheric Water Vapor Over the Caribbean Sea and the Gulf of México. J. of Appl. Meteor., v: 778-788.
- Holton, J. R., 1979: An Introduction to Dynamic

- Meteorology 2a. ed., Academic Press,  
Nueva York, Inter. Geoph. Ser., 23: 391 pp.
- Krishnamurti, T. N. 1985: Summer Monsoon Experiment-A  
Review. Mon. Wea. Rev., 113: 1590-1626.
- Kistler, R. E. y D. F. Parrish, 1982: Evolution of the  
NMC data assimilation system: Septiembre 1978 -  
Junio de 1982. Mon. Wea. Rev., 110: 1335-1346.
- McPhearson, R. D., K. H. Bergman, R. Kistler, G. E.  
E. Rahn & D. S. Gordon, 1979: The NMC operational  
global data assimilation system. Mon. Wea. Rev.  
107: 1445-1461.
- Monin, A.S. y Yaglom, A.M., 1971: Statistical Fluid  
Mechanics: Mechanics of Turbulence. Vol.1,  
MIT press, 769 pp.
- Nieuwolt, S., 1977: Tropical Climatology. John Wiley and  
Sons, London, 207 pp.
- Palmén, E. y C. W. Newton, 1969: Atmospheric  
Circulations System. Academic Press, Nueva York,  
Inter. Geoph. Ser., 15: 603 pp.

- Ramage, C. S., 1971: Monsoon Meteorology. Academic Press, Nueva York y Londres: 296 pp.
- Rasmusson, E., 1967: Atmospheric Water Vapor Transport and the Water Balance of North America. Part I: Characteristic of water vapor flux field. Mon. Wea. Rev., 95, 403-426.
- Rasmusson, E., 1979: Atmospheric Water Vapor and water of Northamerica Part II. Large-Scale Water Balance Investigation. Mon. Wea. Rev. Vol. 96, 720-743.
- Reyes, S. y D.L. Cadet, 1986: Atmospheric Water Vapor Surface Flow patterns over the Tropical Americas during May-August 1979. Mon. Wea. Rev., 114: 62-593.
- Reyes, S. y D. L. Cadet, 1967: The North American Monsoon and its relation to Atmospheric Water Vapor Transport over México. Sometido a publicación al Mon. Wea. Rev.
- Reyes, S. y J. E. Janowiak, 1985: Global Atmospheric Water Vapor Patterns Derive from the NMC.

Analysis Technical report of CAC-NWS-NOAA.  
Washington D.C., USA. 62 pp.

Rivera, V., 1985: Evolución de los Campos de Viento, Divergencia y Vorticidad sobre la región Tropical de América durante el período de Mayo a Septiembre de 1979. Tesis Profesional, Universidad Autónoma de Baja California, ESCM. Ensenada, BCN, México, 62 pp.

Saucier, J. W., 1955: Principles of Meteorological Analysis. The University of Chicago Press., 438 pp.

Villalobos, D. O., 1985: Campo de Agua Precipitable Atmosférico y Flujo Superficial Total de Vapor de Agua sobre el Océano Pacífico Oriental, Norte América y Centro América de Mayo a Septiembre de 1979. Tesis Profesional, Universidad Autónoma de Baja California, ESCM. Ensenada, BCN. México, 60 pp.

Villalobos, D. O. y S. Reyes, 1984: Transporte de vapor de Agua sobre la Región Tropical de América durante el verano de 1979. Presentado en la Reunión de 1984 de la Unión Geofísica Mexicana.

NOVIEMBRE 12-15, LA PAZ, BCS.